XIXème CONGRÈS GÉOLOGIQUE INTERNATIONAL



MONOGRAPHIES RÉGIONALES

2e Série : TUNISIE — N° 3

LES GRANDS PROBLÈMES D'HYDROGÉOLOGIE EN TUNISIE

PAR

G. CASTANY, R. DÉGALLIER et Ch. DOMERGUE



TUNIS 1952

XIXème CONGRÈS GÉOLOGIQUE INTERNATIONAL



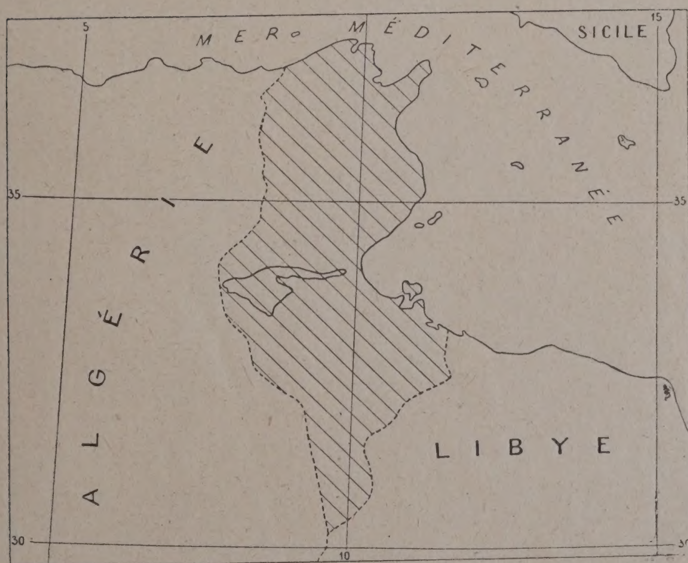
MONOGRAPHIES RÉGIONALES

2e Série : TUNISIE — N° 3

LES GRANDS PROBLÈMES D'HYDROGÉOLOGIE EN TUNISIE

PAR

G. CASTANY, R. DÉGALLIER et Ch. DOMERGUE



TUNIS 1952

INTRODUCTION

Cette monographie, rédigée sous la direction de G. CASTANY, *a pour but d'exposer les grands problèmes d'hydrogéologie en Tunisie. Pour chacun d'eux, elle présente les études entreprises et les solutions apportées. Elle comporte quatre parties :*

Les fossés et cuvettes quaternaires (G. CASTANY).

Les seuils hydrauliques (G. CASTANY).

La nappe miocène de la Tunisie centrale (R. DÉGALLIER).

Les bassins artésiens du Sud Tunisien (CH. DOMERGUE).

PREMIERE PARTIE

LES FOSSÉS ET CUVETTES QUATERNAIRES

par GILBERT CASTANY

GENERALITES

L'Atlas tunisien est affecté de nombreux fossés et cuvettes quaternaires dont la structure a été mise en évidence par des recherches hydrogéologiques et géophysiques. L'étude géologique de ces unités sera poursuivie au cours d'autres mémoires. Nous nous bornerons donc ici aux données indispensables à la compréhension des phénomènes hydrologiques.

Cette étude portera plus particulièrement sur les unités suivantes (pl. I, hors-texte) :

plaine de Grombalia,
cuvettes de la Tunisie orientale.
plaine de Kasserine.

CHAPITRE PREMIER

PLAINE DE GROMBALIA

ETUDE GEOLOGIQUE

La plaine de Grombalia est un ancien golfe quaternaire largement ouvert vers le NW, séparant la zone des massifs jurassiques des dômes du Cap Bon. La géologie de surface est bien connue depuis les études de E. BERKALOFF **[128]**[1] et H. SCHŒLLER **[78]**. La structure profonde a été déterminée par prospection géophysique et par forages. Nous exposerons brièvement les résultats de ces travaux.

ETUDE GEOPHYSIQUE

En 1932, la Direction des Travaux Publics de Tunisie chargeait la Compagnie Générale de Géophysique de l'étude, par prospection électrique, de la région de Grombalia-Menzel bou Zelfa-Soliman. Au centre, dans le secteur de Grombalia-Soliman, les sondages électriques sont caractérisés par la présence d'un complexe conducteur de résistivité voisine de 1 ohm m^2/m. compris entre deux séries résistantes. L'ensemble est une vaste cuvette à fond plat. Les bords NE et SW sont liés à des flexures importantes passant à des fractures. La profondeur maximum se situe vers Menzel bou Zelfa-Grombalia où l'on aurait la coupe suivante, de haut en bas :

Terrain quaternaire résistant. Epaisseur : 500 mètres ;

Terrain très conducteur puissant de 500 à 700 mètres ;

Terrain résistant.

La présence du terrain conducteur posa de délicats problèmes d'interprétation qui furent résolus ultérieurement par des sondages profonds.

1. — Les chiffres gras, placés entre crochets [ ] renvoient aux ouvrages cités dans la bibliographie qui se trouve à la fin de ce fascicule ou des fascicules précédents de la 2e série.

LES SONDAGES

Une campagne de sondages de recherches hydrauliques fut entreprise par la Direction des Travaux Publics à la suite des études géophysiques. Le forage le plus important est celui effectué, au centre de la cuvette, à 7 kilomètres au NE de Grombalia. Il a recoupé de haut en bas :

Quaternaire continental de 0 à 54,50 m. ;

Quaternaire littoral marin et sableux de 54,50 m. à 130 m. ;

Quaternaire lagunaire marneux jusqu'à 430 mètres.

Le Quaternaire marin et lagunaire renferme des couches de gypse et de sel avec un niveau de sel massif entre 384 et 393 mètres.

C'est le terrain conducteur décelé par la géophysique.

CONCLUSIONS DE L'ETUDE STRATIGRAPHIQUE DES SONDAGES

Les coupes de forages nous permettent d'étudier :

A. — La lithologie des sédiments quaternaires ;

B. — La structure régionale.

A. — LITHOLOGIE DES SEDIMENTS QUATERNAIRES

L'étude comparée des coupes de sondages nous conduit aux remarques suivantes :

Dans tous les forages, sauf ceux de Fondouk Djedid, le sommet de la série est sableux.

Les sédiments deviennent de plus en plus marneux à mesure que l'on se déplace vers le centre de la cuvette et vers sa terminaison Nord-Ouest. Au centre, aux sondages de Grombalia, seul le sommet est sableux ; dès la profondeur de 130 mètres le Quaternaire devient marneux et renferme d'importantes couches gypseuses et salifères. Ces observations sont importantes par leurs répercussions hydrauliques.

B. — STRUCTURE GENERALE

Le Quaternaire marin a été reconnu dans les divers sondages aux cotes négatives de 299 mètres à Soliman, 394 à Grombalia et 111 à l'oued Bezirk. Le Sicilien daté à la cote positive 110-150 aux terrasses occidentales se rencontre donc à 15 kilomètres plus au Nord à l'altitude de —394 mètres. Or, comme le fait judicieusement remarquer H. SCHŒLLER [**78**], la faune de Soliman rencontrée à —257 mètres comprend des espèces qui ne peuvent vivre en-dessous de 60-70 mètres et même certaines au delà de 20 mètres. On pourrait admettre que ces dépôts aient été transportés dans

une fosse préexistante. Mais cette théorie est en contradiction avec les assises lagunaires. Il est donc logique de conclure que, depuis le Quaternaire ancien, le soubassement du golfe de Grombalia a subi un affaissement de 500 mètres au minimum.

Cette région est un fossé d'effondrement, véritable *graben* qui se superpose à un affaissement important du socle profond. Il est difficile de déterminer vers quelle époque ces mouvements ont débuté. Nous avons ici un exemple typique de subsidence récente liée à un effondrement du substratum qui s'est poursuivie jusqu'à nos jours.

ETUDE HYDROLOGIQUE

Dans le présent exposé nous examinerons, à la lumière des renseignements fournis par la géologie, la géophysique et les sondages, quelles sont les ressources hydrauliques du fossé quaternaire de Grombalia et comment elles peuvent être exploitées.

Nous ferons un large emprunt aux études de J. Archambault [**6**], E. Berkaloff [**128**] et H. Schœller [**78**]. Dans un mémoire paru aux *Annales des Mines et de la Géologie* [**22**] nous avons publié une synthèse complète sur cette région. Nous étudierons successivement :

1. Hydraulique superficielle ;
2. Hydraulique profonde.

HYDRAULIQUE SUPERFICIELLE

Le *Quaternaire* renferme une nappe *phréatique* importante qui alimente la plupart des puits de la région. Ainsi que l'indique la planche II, hors-texte, où ont été figurées les *courbes isopiézométriques*, le niveau hydrostatique de cette nappe s'abaisse progressivement vers la mer, de la cote 60 à la cote 5 à Soliman. Les mouillières du centre de la plaine sont attribuables à son affleurement. Des études de niveau effectuées depuis 1938 par le Bureau d'Inventaire des Ressources Hydrauliques ont donné les conclusions suivantes :

— Au cours de la période 1938-48 on observe une baisse générale, conséquence de l'épuisement attribuable au pompage intensif pendant dix années de pluviométrie médiocre.

— Réalimentation au cours de l'hiver 1948-49 à la suite de pluies exceptionnellement fortes.

— Puis, baisse générale, depuis 1949, due au pompage, sauf sur la bordure occidentale où les apports d'eau sont importants.

Il résulte de ces observations que l'on doit éviter de demander une plus grande quantité d'eau à la nappe et qu'il semble plus logique de faire appel aux niveaux aquifères profonds.

HYDRAULIQUE PROFONDE

Les forages de recherches hydrauliques effectués nous permettent aujourd'hui de connaître toutes les caractéristiques des niveaux aquifères profonds. Le Quaternaire, composé lithologiquement d'alternances de cou-

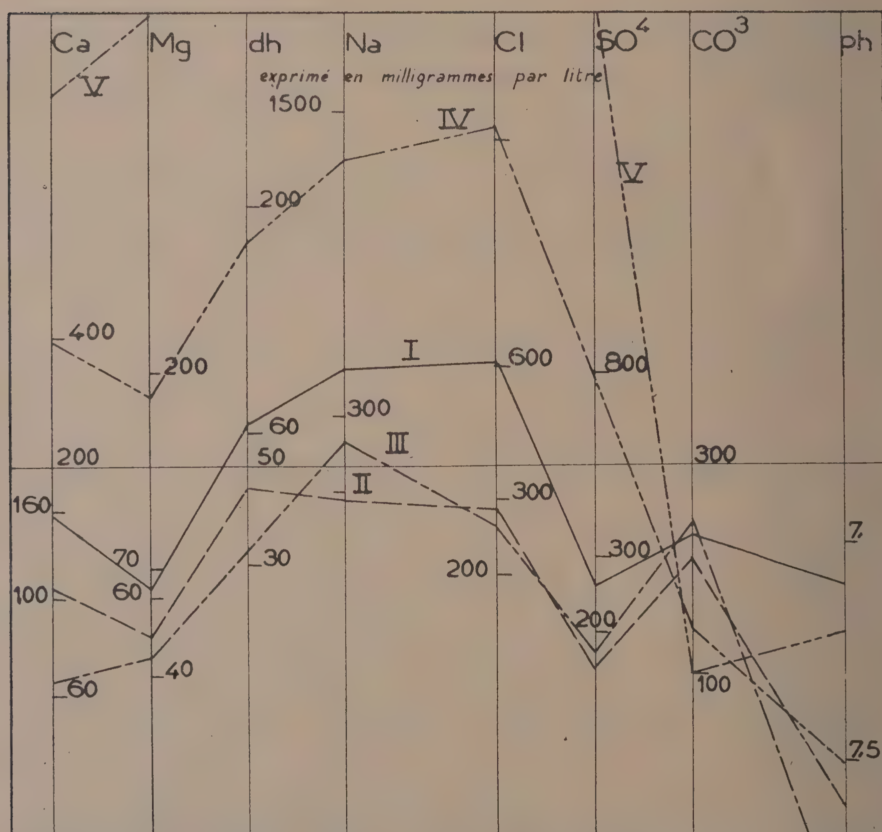


Fig. 1. — Diagrammes logarithmiques du forage de Grombalia.
I, nappe phréatique; II, nappe de 32-51, 50 m.; III, nappe de 65-83 m.; IV, nappe de 98-103 m.; V, nappe de 163-169 m.

ches perméables sableuses et d'assises marneuses imperméables, donne naissance à un *empilement de nappes*. Ces différents étages aquifères communiquent entre eux, plus ou moins librement, et sont également en relation avec la nappe phréatique. Donc, en fait, il s'agit d'*une seule nappe* compartimentée dont l'horizon le plus élevé est la nappe phréatique. Cette dernière n'est pas nettement individualisée et ne représente, en réalité, que le niveau supérieur de la formation aquifère du Quaternaire de la plaine de Grombalia. On comprend ainsi pourquoi les différents horizons ont des niveaux hydrostatiques voisins et, en général, des compositions chimiques comparables, au coefficient de concentration près. Cette parenté est mise en évidence par les diagrammes logarithmiques (fig. 1).

A. — NIVEAU HYDROSTATIQUE

Le niveau hydrostatique des nappes profondes est voisin d'une moyenne qui a permis de tracer les courbes isopiézométriques. *Celles-ci étant sensiblement superposables à celles de la nappe phréatique, nous n'avons dessiné qu'un seul figuré.* Toutefois, en règle générale, la cote obtenue par forage est supérieure de quelques mètres (2 à 5) à celle de l'eau dans les puits. L'examen détaillé des courbes isopiézométriques (pl. II, hors-texte) révèle une surface libre de la nappe simple et homogène dans son ensemble. Les courbes rapprochées en bordure s'espacent vers le centre et le Nord. *La pente hydraulique voisine de 3 au centre s'accentue vers les rives Ouest et Est pour atteindre respectivement les valeurs* 5, 8 *et* 5. *Les études géologiques* ont montré que, parallèlement, la perméabilité allait en augmentant vers les mêmes limites. Les aires latérales de la plaine sont donc des zones de circulation et d'alimentation. Ce mode d'écoulement se traduit par une forme générale en croissant des courbes isopiézométriques.

B. — QUALITE DE L'EAU

Les nappes rencontrées dans les forages sont de bonne qualité pour la Tunisie (fig. 1). Les résidus secs varient entre 500 et 2.000 milligrammes de sels par litre. Les horizons profonds sont, par contre, salés et impotables. Cette propriété, prévue par la géophysique, a été démontrée par les sondages à grande profondeur (65 gr. de sels par litre entre 163 et 169 m. au sondage de Grombalia). Les niveaux aquifères inférieurs à 150 mètres dans le centre de la cuvette doivent être abandonnés.

C. — ALIMENTATION DE LA NAPPE

L'*alimentation directe* provenant de l'infiltration des eaux de pluie sur le périmètre de la plaine est relativement faible.

L'*alimentation indirecte* comporte deux facteurs importants. Les apports des zones limitrophes sont considérables, en particulier par les nombreux oueds qui dévalent les pentes des collines et aboutissent dans

les vallées par de volumineux cônes de déjection où l'infiltration est favorisée. L'étude des variations du niveau de l'eau, au cours des dernières années, a confirmé cette hypothèse.

La nappe de Grombalia se présente comme un immense réservoir naturel dont le volant aquifère peut être important, s'il est exploité rationnellement.

EXPLOITATION DE LA NAPPE

Les études géologiques et hydrologiques effectuées montrent que la seule méthode rationnelle d'exploitation doit être exécutée par forages de moyenne profondeur causant de faibles perturbations sur la nappe phréatique ; les cotes basses du niveau hydrostatique nécessitent un pompage.

CHAPITRE II

CUVETTES DE LA TUNISIE ORIENTALE

Dans une étude plus générale [2] nous avons montré que la Tunisie orientale était affectée depuis le Miocène d'un affaissement lent qui s'est poursuivi durant le Mio-Pliocène. Dans les cuvettes synclinales ainsi formées le mouvement vertical négatif s'est prolongé au cours du Quaternaire. En général, les points bas sont occupés par des sebkras, où s'effectue la sédimentation actuelle.

Les études géologiques et les prospections géophysiques poursuivies depuis cinq années, tant par les Sociétés pétrolières que par la Direction des Travaux Publics ont permis de déceler avec certitude de telles structures aux points suivants (fig. 2, p. 14 et pl. I hors-texte) :

Cuvette de Kairouan-El Alem ;
Lac Kelbia-Enfidaville ;
Sebkra de Moknine ;
Plaine de Djemmal.

Chaque unité pose les mêmes problèmes hydrauliques. Nous étudierons donc en détail la cuvette de Kairouan pour donner ensuite un bref aperçu des autres structures.

CUVETTE DE KAIROUAN - EL ALEM

ETUDE GEOLOGIQUE

L'étude géologique confirmée par quelques forages montre que la bordure occidentale de la cuvette de Kairouan est accidentée de fractures et flexures importantes. En particulier, le secteur septentrional, la cuvette de Djebibina, constitue un véritable *graben* (pl. III, hors-texte).

A la suite d'une campagne de forages, la géologie de la cuvette, et plus particulièrement de la zone de Kairouan, est bien connue. Tous les forages situés dans le centre ont recoupé les mêmes couches qui sont

nettement post-mio-pliocènes. Ce sont essentiellement des alternances, plusieurs fois répétées, de sables plus ou moins grossiers avec galets, passant à des grès et conglomérats et de marnes ou vases. Nous sommes donc en présence de couches détritiques continentales que l'on peut attribuer pour la plus grande partie au Quaternaire. Les profondeurs respectivement atteintes dans ces formations sont de 201 m. à *Henchir*

Fig. 2. — SCHÉMA HYDROGÉOLOGIQUE DE LA NAPPE DE KAIROUAN.
1, axes anticlinaux ; 2, axes synclinaux ; 3, limites des terrains plio-quaternaires ; 4, courbes isopiézométriques ; 5, sens d'écoulement.

Gallele, 300 m. à *El Haria*, 358 m. à *Bir Zeddame*, 391 et 516 m. au Sud de *Kairouan. Toutes les formations constituant le comblement de la cuvette de Kairouan, jusqu'à une profondeur d'au moins* 500 *mètres, doivent être attribuées au Quaternaire continental.*

Les *études géophysiques*, soit par gravimétrie, soit par prospection sismique, ont confirmé cette structure.

Conclusions. — La cuvette de Kairouan est une cuvette subsidente comblée de dépôts continentaux. Le phénomène d'affaissement débutant au Miocène, à la suite des mouvements anté-burdigaliens, s'est poursuivi durant le Mio-Pliocène et perpétué au Quaternaire.

ETUDE HYDROLOGIQUE

Nous porterons plus particulièrement notre attention sur les secteurs septentrional et central de la cuvette de Kairouan-El Alem. A la suite de nombreux travaux de reconnaissance et d'exploitation, les nappes y sont bien connues.

CARACTERISTIQUES DES NAPPES

Les coupes des sondages profonds nous ont montré que les séries plio-quaternaires sont formées d'alternances de sédiments perméables et aquifères, sables, graviers, conglomérats, grès, et de vases formant écran. Ainsi est réalisé un système hydraulique en *nappes empilées*. L'étude des diagrammes logarithmiques d'une part (fig. 4, 5 et 6, pp. 18, 19, 20) et des niveaux piézométriques d'autre part montre que ces horizons communiquent entre eux et constituent une *seule unité, simplement compartimentée*. Il en résulte que la nappe phréatique représente l'étage supérieur du système. En général, son niveau hydrostatique est légèrement inférieur à celui des horizons profonds. Nous étudierons successivement les points suivants :

A. — Niveau hydrostatique ;

B. — Etude chimique.

A. — NIVEAU HYDROSTATIQUE. COURBES ISOPIEZOMETRIQUES

Les courbes isopiézométriques (fig. 2, p. 14) épousent sensiblement la forme du niveau topographique. Les cotes s'abaissent progressivement vers le Sud de 100 m. à Djebibina, à 30 m. au centre et même 25 m. sur les rives de la sebkra Kelbia ; du SW, de 130 m. à El Aouareb, à 36 m. vers l'Est, et 25 m. au NE (lac Kelbia). Les zones de drainage du système hydraulique ainsi mises en évidence sont les suivantes :

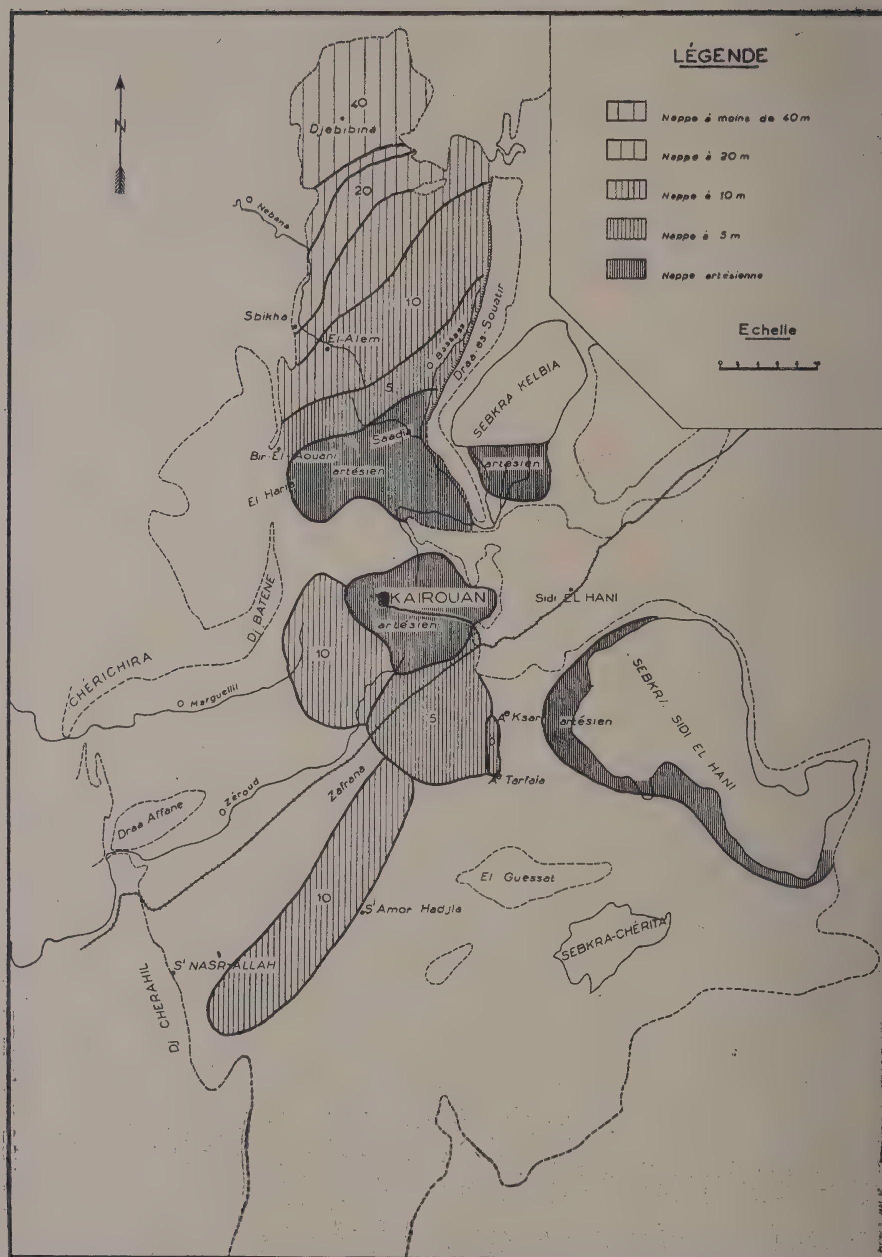


Fig. 3. — CARTE DES PROFONDEURS DE LA NAPPE DE KAIROUAN.

Bas-fonds d'El Mesbasta-Ouled en Nsar-Oued el Ataf où l'eau qui affleure au niveau du sol est reprise par une évaporation intense. La partie qui échappe à l'évaporation est drainée par l'oued el Ataf et son *underflow* vers la sebkra Kelbia.

Sebkras de Sidi el Hani et *Cherita* où l'eau est également reprise par évaporation.

Nous pouvons distinguer trois secteurs hydrauliques (fig. 2, p. 14) :

Le *secteur Nord*, au Nord des bas-fonds d'*El Mesbasta*, dont les eaux souterraines s'écoulent du Nord au Sud.

Le *secteur central* avec un écoulement, partie au Nord vers El Mesbasta et partie au Sud vers les sebkras.

Le *secteur Sud* drainé vers les sebkras.

a) *SECTEUR NORD*. — L'examen des courbes isopiézométriques (pl. III, hors-texte) montre que la surface libre n'est pas régulière et qu'elle présente de nombreuses et importantes anomalies. Le point haut de la nappe est au Nord à la cote 100. Vers le Sud, la surface piézométrique s'équilibre avec la plaine d'El Mesbasta à la cote 25. De là les eaux qui n'ont pas été évacuées, soit souterrainement, soit par l'oued el Ataf vers la cuvette d'Enfidaville, son absorbées par évaporation.

Au Nord, dans la plaine de Djebibina (pl. III), les courbes isopiézométriques très rapprochées et régulières présentent une forte concavité tournée vers les cotes décroissantes et en direction du Sud qui présente le sens du courant général. La *pente hydraulique est très forte* (4 pour 1.000). Le gradient hydraulique et la perméabilité connue par les forages, indiquent un *fort débit* et par suite une *alimentation importante*. La courbe 60 montre une venue d'eau latérale, occidentale, très forte (courbe tangente aux affleurements de bordure). L'écoulement de la nappe s'effectue surtout par les bordures, phénomène qui, s'ajoutant à l'accroissement de l'alimentation dans ces zones, explique l'allure en croissant du faisceau de courbes.

Au Sud, nous pouvons distinguer :

Un bassin faisant suite à la zone précédente où le sens d'écoulement des eaux souterraines dévie vers l'Est pour aboutir à un niveau de drainage longeant la colline du Draa es Souatir et correspondant aux mouillères et au lit de l'oued Bassas. Les courbes sont plus espacées et la pente hydraulique moins rapide (1 pour 1.000). La concavité est tournée vers le Nord et l'axe, dirigé NW-SE, prolonge sensiblement celui des courbes septentrionales. L'étude géologique montre que le terrain est moins perméable qu'au Nord. *L'écoulement de la nappe est donc faible.*

Un bassin occupé par le cône de déjection de l'oued Nebaana. Les courbes ont une concavité moins marquée et une pente hydraulique plus accentuée (1,7 pour 1.000). Nous savons que la perméabilité est plus forte dans cette zone. Le débit a donc augmenté et par voie de conséquence l'ali-

mentation. Cet accroissement est dû aux apports de l'oued Nebaana, dont les eaux de crues s'infiltrent rapidement sur la vaste aire d'épandage que représente son cône de déjection.

Un bassin d'évaporation, la plaine d'El Mesbasta. La pente hydraulique diminue et devient sensiblement parallèle à la surface topographique. Ici apparaît le rôle de l'évaporation. L'écoulement est lent.

b) *SECTEUR CENTRAL.* — L'unité hydraulique y est constituée par les cônes de déjection des oueds Zeroud et Marguellil (fig. 2 et 3, pp. 14 et 16). L'écoulement s'effectue, d'une part, dans le sens SW-NE vers la cuvette de El Mesbasta, d'autre part dans le sens W-E vers un accident tectonique

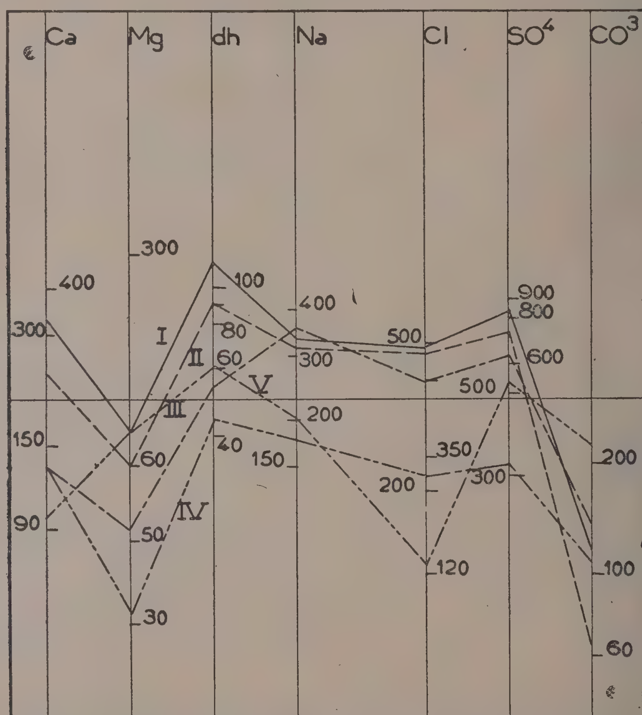


Fig. 4. — DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES DES EAUX DU FORAGE D'EL ALEM (3414/5) DES GRÈS OLIGOCÈNES DE BORDURE ET DE LA NAPPE PHRÉATIQUE.
I, première nappe; II, deuxième nappe; III, troisième nappe; IV, nappe phréatique; V, nappe des grès oligocènes.

d'orientation N-S jalonné par les sources d'Aïn el Ksar-Aïn Tarfaïa. Les courbes isopiézométriques indiquent en ce point une chute rapide du niveau statique. Puis les eaux souterraines s'écoulent vers les sebkras.

c) *SECTEUR SUD.* — Cette région est constituée de sédiments fins et peu perméables. Elle est drainée par les zones d'évaporation de l'accident

N-S d'Aïn el Ksar-Aïn Tarfaïa et par les sebkras Sidi el Hani et Cherita. Il s'agit de bassins d'évaporation clos, ainsi que le montre la fermeture des courbes isopiézométriques 40 et 50. L'examen des courbes de la partie septentrionale traduit une alimentation par l'oued Zeroud.

B. — ETUDE CHIMIQUE.

a) DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES. — Les graphiques des différents niveaux aquifères rencontrés par les forages sont semblables et superposables aux concentrations près (fig. 4 et 5).

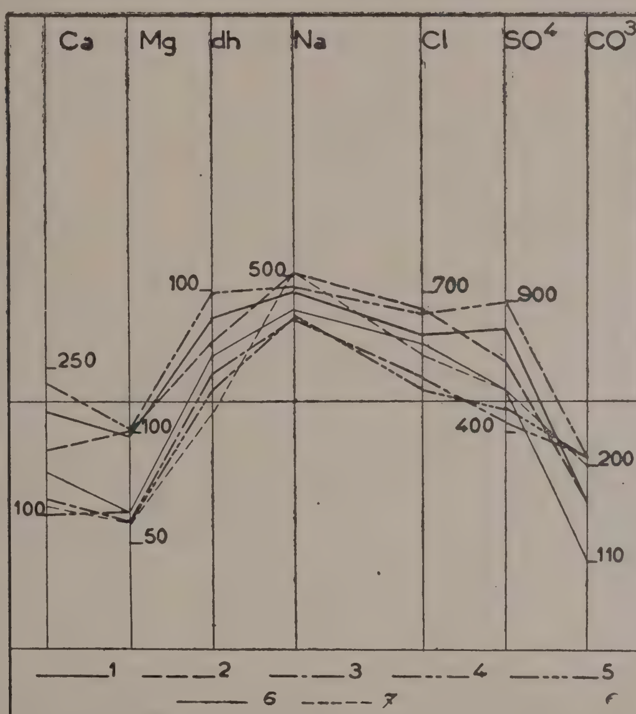


Fig. 5. — DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES DES EAUX DU SONDAGE DE KAIROUAN (3229). 1, nappe de 78,3 m.; 2, nappe de 94,60 m.; 3, nappe de 115,50 m.; 3, nappe de 161,45 m.; 5, nappe de 211,6 m.; 6, nappe de 253,60-269.

Tous ces horizons appartiennent bien à une *nappe unique*, la *nappe quaternaire*. La nature lithologique des dépôts en provoque le compartimentage, tout en permettant des communications plus ou moins lentes, qui sont la cause des variations de concentration. C'est très net pour les forages de El Alem (fig. 4), Kairouan (fig. 5) et Zafrane II (fig. 6, p. 20). La courbe représentant la nappe phréatique est identique à celle des horizons profonds (fig. 6). Celle-ci représentent donc bien le niveau superficiel du

système aquifère. Nous noterons la mise en évidence de l'alimentation de la nappe par les couches oligocènes de bordure (fig. 4, p. 18) et les analogies des eaux des sources de la partie basse de la cuvette avec celles de la rive méridionale de la sebkra Kelbia.

b) Résidus secs. — Au Nord, il a été possible, ainsi que l'a représenté X. des Ligneris [**162**], de tracer les *courbes d'égale salure* (pl. III, hors texte). Ces lignes ont la même direction que les courbes isopiézométriques. La salure des eaux, ainsi que l'on devait s'y attendre, augmente en fonction de leur circulation dans le sol. Dans le détail les courbes présentent des anomalies importantes. Dans l'axe de l'oued Krioula, les eaux se chargent en sels, en circulant dans les formations alluvionaires. Au contraire, vers l'oued Nebaana, l'alimentation de la nappe se traduit par une baisse de salure.

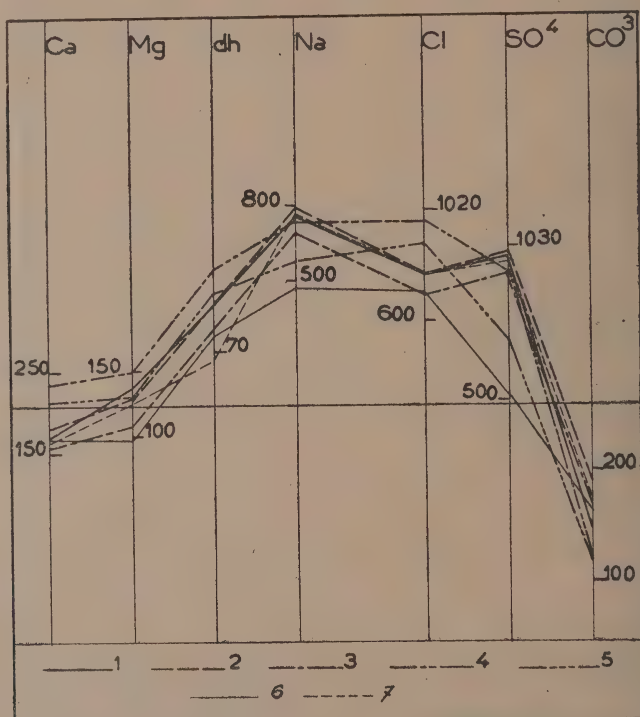


Fig. 6. — Diagrammes logarithmiques des eaux du forage de Zafrane II (3393).
1, nappe de 16,28 m.; 2, nappe de 75,5-91 m.; 3, nappe de 112-119 m.; 4, nappe de 158-175 m.; 5, nappe de 250-251,5 m.; 6, nappe de 305-313 m.; nappe phréatique.

Au Sud, l'étude des résidus secs montre que les teneurs sont très variables. Cette diversité est due aux variations de la composition des sols et aux diverses réactions chimiques dont ils sont le théâtre. Notamment

l'action des bases sur les sels dissous, au contact des argiles. En général, les concentrations augmentent d'Ouest en Est, c'est-à-dire à mesure que l'on s'éloigne de la zone d'alimentation. L'étude comparée de la nappe phréatique et des horizons aquifères profonds montre que les *eaux de surface se salent plus rapidement.*

c) Variations des rapports des éléments Ca, Mg, SO^4 et Cl. — L'étude des rapports caractéristiques montre que :

La valeur du rapport Mg/Ca dépend surtout de la durée du contact de l'eau avec le sol ;

La valeur du rapport SO^4/Cl semble être, au contraire, sous la dépendance de l'alimentation et est peu influencée par la distance parcourue par l'eau dans le sol.

Les études chimiques confirment les observations que nous avions formulées au cours de l'étude dynamique de la nappe, quant à son alimentation et son écoulement. La nappe est alimentée, au Nord et à l'Ouest, par les nappes oligocènes et miocènes de bordure et l'oued Nebaana ; au Sud, par les djebels Batene, Cherichira, Cherahil et les oueds Marguellil et Zeroud. L'écoulement général s'effectue vers deux points bas, au Nord-Est de Kairouan le golfe d'Enfidaville et au SE les sebkras Sidi el Hani et Cherita.

ALIMENTATION DES NAPPES

A) Alimentation directe — Elle provient de l'*infiltration des eaux de pluies*. La superficie totale est de 4.000 km² environ. Pour la partie septentrionale, bien connue, elle est de 1.500 km². En calculant selon la base moyenne de 1 litre-seconde par kilomètre-carré la cuvette de Djebibina-El Alem-Kairouan est donc susceptible de donner un débit de 1.500 litres par seconde, rien que par son alimentation directe.

B) Alimentation indirecte. — Nous pensons que c'est la plus importante et qu'elle doit être considérable. Deux facteurs entrent en ligne de compte : les apports des eaux superficielles, originaires des collines et des montagnes de bordure et l'alimentation souterraine par les nappes adjacentes.

Les apports des eaux superficielles des collines de bordure s'effectuent essentiellement par les oueds nombreux, qui, pour la plupart, viennent se perdre dans les alluvions de la cuvette. Seul l'oued Zeroud aux périodes de fortes crues atteint la sebkra Kelbia. On peut se rendre compte de l'apport considérable ainsi effectué par les observations de E. Berkaloff [**134**] qui a évalué le bassin versant des oueds Nebaana, Marguellil et Zeroud à 15.000 kilomètres carrés. En se basant sur des chiffres moyens les réserves totales seraient susceptibles de donner un débit de l'ordre de plusieurs mètres cubes par seconde, au minimum 2 ou 3.

L'alimentation indirecte s'effectue également par le déversement des nappes voisines occidentales grâce à la présence de seuils tectoniques, points bas qu'empruntent les oueds Cherichira, Marguellil et Zeroud.

LES PERTES

Toutes les eaux ainsi accumulées ne stationnent pas dans la cuvette quaternaire. Une partie se déverse, à son tour, dans les nappes orientales soit superficiellement, soit souterrainement. Le *déversement superficiel* s'effectue par l'oued el Alem qui draine la zone basse de la cuvette, zone de débordement de la nappe et se jette dans la sebkra Kelbia. Lors des grandes crues, une partie des eaux de l'oued Zeroud atteint également le lac Kelbia et au Sud les sebkras Sidi el Hani et Cherita. La principale région de fuites par *déversement* souterrain correspond également à la sebkra Kelbia. Les pertes par évaporation sont importantes surtout dans les parties basses où le niveau est artésien.

LAC KELBIA - ENFIDAVILLE

La cuvette du lac Kelbia-Enfidaville, située à l'Est de la plaine de El Alem dont elle est séparée par le Draa es Souatir, est limitée vers l'Est par les collines mio-pliocènes de la région de Sidi el Hani. Largement ouverte au NE, elle est occupée par des terrains quaternaires récents. La partie méridionale voit apparaître un lac temporaire : la sebkra Kelbia. Les horizons mio-pliocènes de bordure s'ennoient sous les dépôts récents par des flexures. Les sondages y ont recoupé 160 mètres de sédiments post-pliocènes que l'on doit attribuer au Quaternaire continental. Une étude gravimétrique a mis en évidence l'affaissement du substratum.

Cette région a fait l'objet d'une étude de E. BERKALOFF [**130**] dont nous dégagerons les faits essentiels. Les formations perméables de la plaine renferment des nappes situées à différents niveaux. C'est le système hydraulique habituel en nappes empilées intercommunicantes. La nappe phréatique est bien connue. Les eaux souterraines s'écoulent du lac Kelbia vers la mer (fig. 2, p. 14). La pente hydraulique est faible. L'observation des courbes isopiézométriques montre l'existence d'un courant privilégié, à la bordure SE, où la nappe s'écoule vers le golfe de Hammamet, en direction de Hergla.

SEBKRA SIDI EL HANI

Au SE de la cuvette de Kairouan, une seconde cuvette topographique, dont la partie basse est occupée par la sebkra de Sidi el Hani, a été étudiée par forage et géophysique. C'est également une cuvette subsidente

dont l'origine remonte au Miocène et comblée de terrains quaternaires continentaux.

La rareté des points d'eau ne nous a pas permis de tracer toutes les courbes isopiézométriques (fig. 2, p. 14). On remarque que les courbes concentriques indiquent un bassin sans écoulement.

CHAPITRE III

PLAINE DE KASSERINE

GENERALITES

Les plis de l'Atlas tunisien, orientés SW-NE, sont accidentés transversalement dans la région de Kasserine, par un fossé comblé de dépôts quaternaires, qui s'étend de la Foussana aux Ouled Moussa. Des goulets le divisent en trois tronçons qui sont, d'Ouest en Est : El Oubira, la Foussana et la plaine de Kasserine. Nous étudierons plus particulièrement la plaine de Kasserine. La disposition des terrains en profondeur est bien connue par des observations géologiques de surface de J. ARCHAMBAULT [**123**], E. BERKALOFF, A. ROUMIGUIÈRES et D. UGUET [**164**] et des forages profonds. La structure est due à l'interférence de deux directions d'accidents (fig. 7, p. 26) ; les plis Sud-Ouest Nord-Est et les grandes fractures NNW-SSE.

LES PLIS SW-NE. — Kasserine se situe dans l'axe d'une gouttière, vaste cuvette qui part de Thelepte vers la région de Garat el Atech. C'est le synclinal du plateau de Kasserine. Il est bordé au NW et au SE par les plis du Chambi-Semmama et du Selloum-Maargaba.

LES GRANDES FRACTURES NNW-SSE. — Les axes décrits précédemment, sont coupés transversalement par une série de fractures qui délimitent des plaines de la Foussana et de Kasserine. La plus apparente est celle, dite de la *falaise de Kasserine*, qui, correspondant à la falaise gréseuse, résulte d'une série de fractures en zig-zag dont la direction moyenne est NNW-SSE. Elle a provoqué l'affaissement de toute la plaine située au NE, véritable fossé d'effondrement mis clairement en évidence par les forages profonds. Cette architecture du sous-sol délimite deux systèmes hydrauliques bien distincts :

La falaise de Kasserine,
La plaine de Kasserine.

Le premier, appartenant au type des seuils hydrauliques, sera étudié au cours de la deuxième partie.

La plaine de Kasserine est un fossé d'effondrement transversal comblé d'une puissante accumulation de sédiments quaternaires continentaux dont l'épaisseur dépasse 300 mètres.

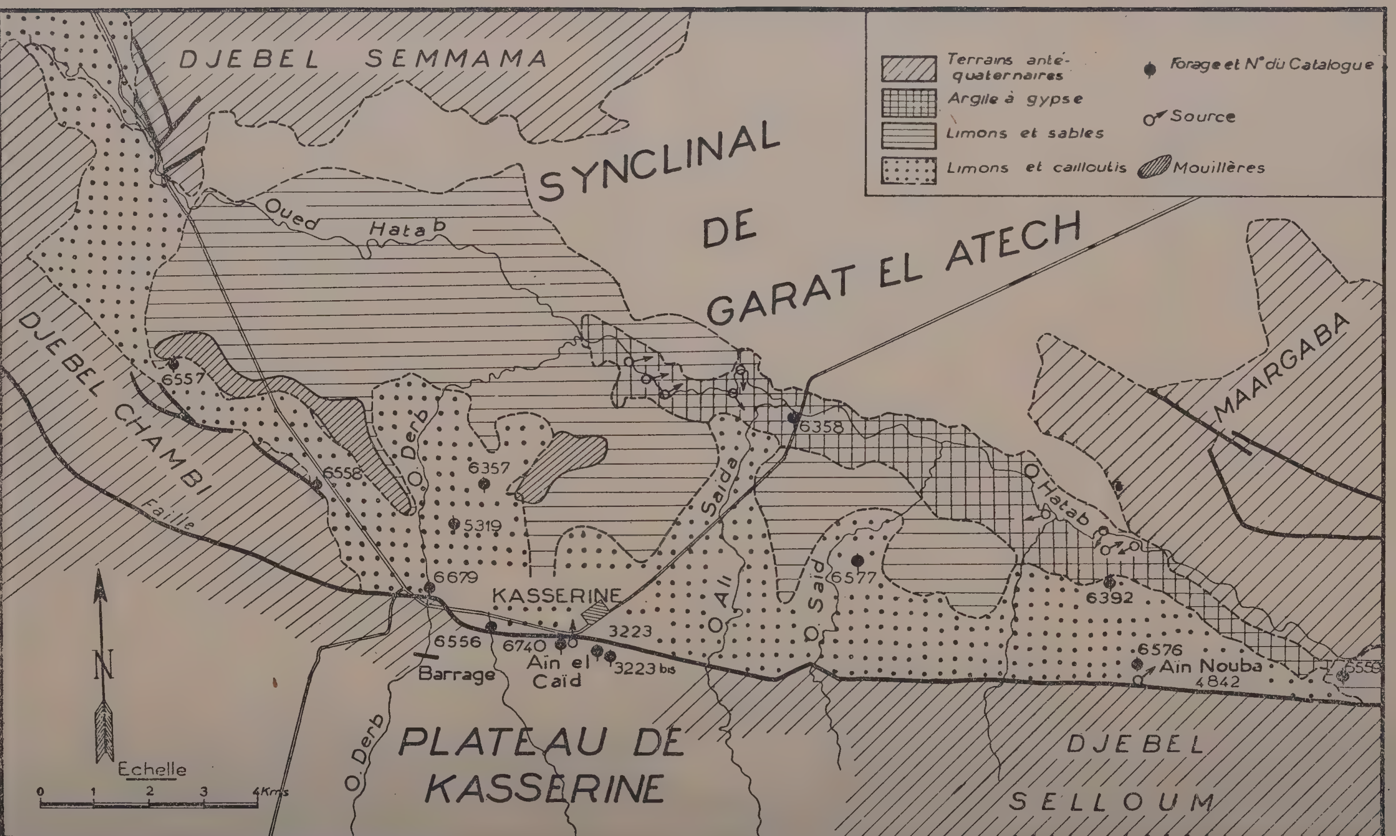


Fig. 7. — Fossé quaternaire et seuil de Kasserine.

LES TERRAINS QUATERNAIRES

Les sédiments quaternaires sont connus en surface et en profondeur par forages. La *répartition des affleurements* superficiels est représentée sur la figure 7. Le *sous-sol* a été exploré par sondages qui y ont reconnu, sur plus de 300 mètres, plusieurs niveaux, tous attribués au Quaternaire. Au sommet une formation superficielle, épaisse de 4 à 26 mètres, est de perméabilité médiocre. La formation moyenne, composée d'argiles et de limons plus ou moins sableux avec galets et gypses sur 12 à 30 mètres, est peu perméable. Les couches profondes, avec sables parfois argileux et lits d'argiles et de galets, très puissantes, présentent une bonne perméabilité. C'est, du point de vue aquifère, le niveau le plus intéressant.

LA NAPPE

L'étude stratigraphique des sondages a montré que les sédiments quaternaires de la plaine étaient constitués d'alternances de sables plus au moins argileux, de galets et d'argiles, donc de niveaux perméables séparés par des écrans étanches. Ces formations lenticulaires communiquent entre elles. Les zones sableuses et grossières sont plus importantes en bordure et passent au centre à des horizons plus marneux. C'est pourquoi nous avons admis l'existence d'une *nappe unique compartimentée*. Les compositions ioniques sont constantes. Seuls le niveau hydrostatique et la concentration varient en fonction de la vitesse de circulation. Du point de vue hydraulique nous pouvons distinguer :

1. Un niveau superficiel hétérogène ;
2. Un niveau profond homogène.

NIVEAU AQUIFERE SUPERFICIEL

A) Niveau hydrostatique. Ecoulement. — La cote de la surface libre a permis de tracer les courbes isopiézométriques. L'eau est partout proche de la surface. L'écoulement s'effectue avec une pente faible d'Ouest en Est. Au NW l'oued el Hatab alimente la nappe. A l'Est, par contre, il joue le rôle de drain collecteur central.

B) Débits. — Les débits faibles au centre, deviennent plus importants dans la plaine d'Aïn Nouba où l'on compte une quinzaine de sources totalisant 20 litres-seconde environ.

NIVEAU AQUIFERE PROFOND

Les couches profondes de la plaine ont été explorées par forages. Nous dégagerons les résultats d'ensemble des recherches entreprises..

A. — Etude dynamique

a) *Niveaux hydrostatiques.* — Les niveaux hydrostatiques, avec les profondeurs des nappes reconnues, sont donnés dans le tableau suivant :

Forage	N° du catalogue	Cote du terrain	Profondeur de la nappe	Cote de l'eau
Kasserine N° 1........	6.556	671,60	52,50	645,20
			8	639,95
Kasserine N° 2........	6.357	642,43	40,50	
			64	642,60
Kasserine N° 3........	6.558	659,76	20,50	644,36
Kasserine N° 4........	6.557	636,57	15	635,20
Kasserine	5.319	647	207	631
Pont O. Hatab........	6.358	646		608,15
Aïn Nouba............	6.392	628	40	622,5

La cote de l'eau dans les forages est donc plus élevée qu'aux points d'eau superficiels. L'écoulement, indépendant de la topographie, s'effectue dans le centre, du Sud au Nord. La profondeur du toit de la nappe par rapport au niveau du sol, diminue rapidement dans cette direction. Dans la région d'Aïn Nouba il a lieu d'Ouest en Est (pl. IV, hors-texte).

b) *Débits.* — La capacité spécifique, ou débit en litres-seconde par mètre de dépression, atteint une moyenne de 0,8. Elle est donc faible et rend le pompage nécessaire avec des abaissements importants. Les essais de pompages ont donné les résultats suivants :

Forage	N° du catalogue	Profondeur du toit de la nappe	Dépression	Débit en litres-seconde
Kasserine N° 1........	6556	— 26,40	0,62	1,4
Kasserine N° 2........	6357	+ 0,17	0,42	0,14
Kasserine N° 3........	6558	— 15,40	—	faible
Kasserine N° 4........	6557	— 1,37	3,93	3
Kasserine	5319	— 16	Capacité spécifique : 0,8	
Aïn Nouba	6392	— 5,5	0,25	1,03

B. — Etude chimique

Les compositions ioniques des eaux des forages sont analogues. Les diagrammes logarithmiques montrent qu'il s'agit d'une même nappe (fig. 8). Les rapports caractéristiques conduisent aux mêmes conclusions. Les résidus secs varient entre 740 et 926 milligrammes de sels par litre.

Les eaux de la nappe profonde, sont ainsi moins chargées que celles des niveaux superficiels.

En conclusion, les horizons profonds sont intéressants par leur débit et la qualité des eaux.

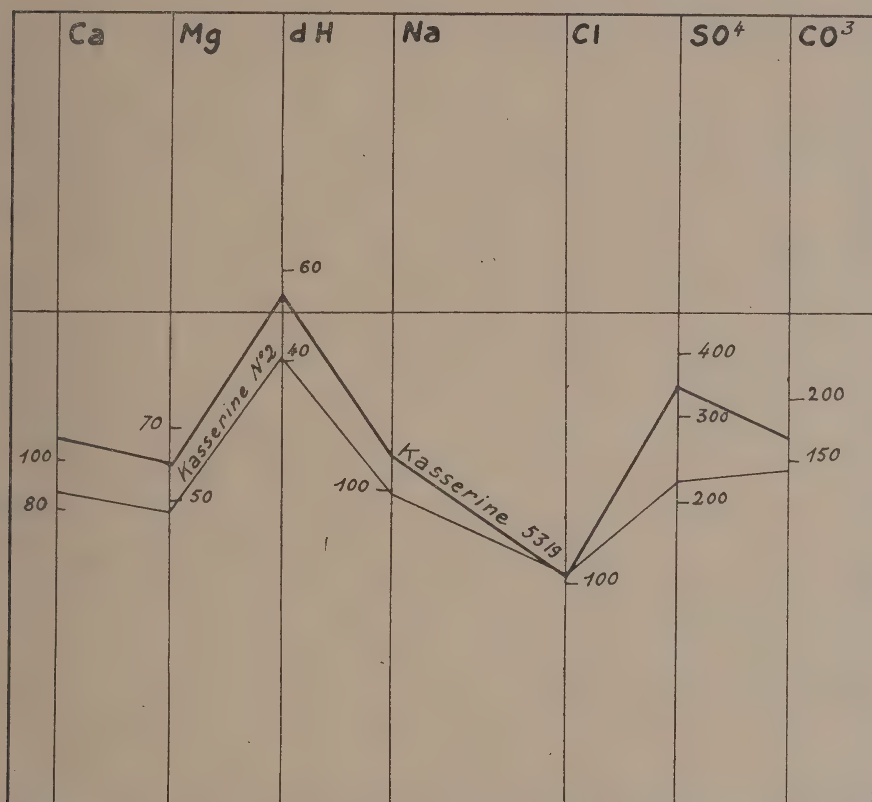


Fig. 8. — Diagrammes logarithmiques des eaux du fossé de Kasserine.

C. — Alimentation

La plaine de Kasserine est le *réceptacle général* dans lequel vient s'emmagasiner le trop plein des unités hydrauliques voisines, principalement du plateau de Kasserine et de la Foussana et, temporairement, des djebels crétacés. L'*alimentation directe* est peu importante étant donnée la faible superficie de la plaine, qui ne dépasse pas 65 kilomètres carrés. L'*alimentation indirecte* comporte les apports des eaux de ruissellement, de la collature des irrigations, des exurgences des nappes miocènes et crétacées, du débordement souterrain des nappes et *underflow* et surtout des pertes du seuil hydraulique. Les eaux de ruissellement drainent plus

de 425 km² avec une moyenne pondérale pluviométrique de 340^{mm}. L'irrigation est effectuée à partir de la séguia du barrage de l'oued Derb. Celle-ci donne un débit moyen de 300 litres-seconde. En tenant compte des coefficients d'évaporation et de percolation on peut estimer la récupération à 50 litres par seconde. Les pertes du seuil hydraulique atteignent 200 à 300 litres-seconde. Au total on peut estimer l'alimentation à plus de 1.000 litres-seconde. Les réserves sont donc importantes.

CHAPITRE IV

EXPLOITATION DES NAPPES

Les fossés quaternaires comblés de sédiments détritiques, alternances de sables plus ou moins argileux, de conglomérats et de vases sur une grande puissance, gorgés d'eau, constituent d'immenses réservoirs souterrains naturels.

Les règles d'exploitation de ces nappes ont déjà été exposées par J. ARCHAMBAULT [6]. Elles ont été mises en pratique et complétées au cours des dernières années. Dans de telles structures hydrauliques la seule exploitation rationnelle doit s'effectuer par sondages et plus particulièrement par des puits jumelés dont le type a été réalisé à Kairouan (forages 3221 et 3229 bis). Etant données la cote de l'eau d'une part et la faible perméabilité des terrains d'autre part, le pompage est nécessaire. Ces nécessités entraînent une technique particulière : le développement artificiel des puits forés, par injection de graviers.

Pour qu'un forage donne des résultats intéressants il faut :

que le niveau hydrostatique soit le plus élevé possible ;

que les terrains traversés soient susceptibles par leur perméabilité de donner de bons débits. On a donc intérêt à se rapprocher des zones d'alimentation sédimentaires où les dépôts sont plus grossiers. Les formations se colmatent vers le centre des cuvettes. Sur ces zones bordières, on choisira les cônes de déjection des oueds, ainsi que l'a préconisé à maintes reprises J. ARCHAMBAULT ;

que les eaux soient de bonne qualité. Cette dernière condition dépend d'ailleurs en grande partie de la seconde, car les eaux se chargent d'autant plus qu'elles circulent plus lentement et qu'elles s'éloignent de leur point d'origine.

En général on s'adresse de préférence aux régions qui se traduisent sur la carte des courbes isopiézométriques et d'égale salure par d'importantes anomalies positives. En effet, celles-ci indiquent des courants, donc des zones où la nappe en mouvement est moins salée et plus abondante.

Nos études ont montré que, dans la généralité des cas, les eaux des niveaux profonds sont moins chargées en sels dissous que les horizons superficiels. On aura donc intérêt à exécuter des forages importants.

DEUXIEME PARTIE

LES SEUILS HYDRAULIQUES

par Gilbert Castany

GENERALITES

Les études hydrogéologiques, entreprises en Tunisie au cours des dix dernières années, avaient décelé la présence, en différents points de la Tunisie centrale et méridionale, de *zones d'émergences aquifères* et d'*anomalies* présentant des caractères particuliers. Dans ces structures, on observe une chute brusque du niveau hydrostatique de la nappe aquifère, chute que l'on ne peut attribuer à des variations de perméabilité ou de débits et qui est en relation étroite avec la géologie profonde. Elles sont marquées en surface par la localisation des points d'eau, sources et puits à forts débits et niveaux hydrostatiques élevés, s'alignant au pied de falaises topographiques. Nous les désignerons sous le terme de *seuils hydrauliques*. Ces structures fréquemment liées aux fossés quaternaires étudiés au cours du chapitre précédent, posaient un problème délicat qui fut résolu grâce aux travaux de A. ROUMIGUIÈRES, D. UGUET, J. ARCHAMBAULT et de nous-même, montrant leur relation avec des failles importantes.

Les seuils hydrauliques, fréquents en Tunisie, ont été précisés à Kasserine, Gafsa, Hadjeb el Aïoun, Djilma (Bled er Roua), Sbeïtla, Sbiba (pl. I). Notre étude portera sur les plus typiques d'entre eux :

- seuil de Kasserine,
- seuil de Gafsa,
- seuil d'Hadjeb el Aïoun.

Nous résumerons ensuite leurs caractères généraux pour exposer une méthode d'exploitation rationnelle.

CHAPITRE PREMIER

LE SEUIL HYDRAULIQUE DE KASSERINE

Le seuil hydraulique de Kasserine, marqué par la falaise de Kasserine et sa grande faille, est lié au fossé quaternaire d'effondrement de l'oued el Hatab. La région de la falaise de Kasserine constitue une unité structurale et hydraulique nettement individualisée.

LES TERRAINS

STRATIGRAPHIE. — Les terrains, connus en affleurements sur les flancs des plis et en profondeur par forages, sont, de bas en haut :

les calcaires du Crétacé supérieur,

les grès miocènes.

Les calcaires du Crétacé supérieur blancs, sublithographiques, fissurés sont très aquifères. Ils sont attribuables au Campanien.

Les grès miocènes. — Localement, les calcaires sont surmontés d'argiles rouges latéritiques. Cet horizon discontinu n'est pas suffisant pour former un écran étanche entre les calcaires et les grès qui les suivent Au-dessus vient un complexe gréseux attribué au Miocène, dans lequel il serait vain de distinguer des subdivisions. Les grès, plus ou moins grossiers et cimentés, tendres, avec rares intercalations de marnes gypseuses dominent à la base. Au sommet, ils admettent des couches argileuses plus fréquentes et plus puissantes. Ces assises forment la falaise et le plateau de Kasserine (fig. 7, p. 26, et fig. 9, p. 36).

CARACTÉRISTIQUES HYDRAULIQUES. — Calcaires crétacés et grès miocènes constituent un matériau aquifère unique, chaque horizon différant uniquement par ses caractéristiques hydrauliques. Les calcaires sont perméables en grand par circulation karstique dans des fissures ouvertes. Leur débit spécifique est élevé. Les grès perméables en petit par circulation d'interstices, constituent également un horizon aquifère favorable.

Résultats stratigraphiques des forages. — Des sondages ont été entrepris sur la falaise (fig. 9). Ils ont recoupé le complexe gréseux. A Aïn Allouche (6.679) les calcaires campaniens ont été atteints sous 35 mètres de Miocène gréseux.

Sondages de l'oued Derb. — Une campagne de dix sondages, d'une profondeur moyenne de trente mètres, a été entreprise sur les rives de l'oued Derb. Situés sur un profil perpendiculaire à la falaise, ils ont permis de préciser la structure profonde de cette zone, montrant les effondrements par panneaux en direction de la plaine de subsidence quaternaire.

LA STRUCTURE

La *falaise de Kasserine* correspond, ainsi que le montrent les travaux de reconnaissance, à une zone de fractures qui met en contact (fig. 9) deux compartiments lithologiques différenciés. Au Sud les grès miocènes

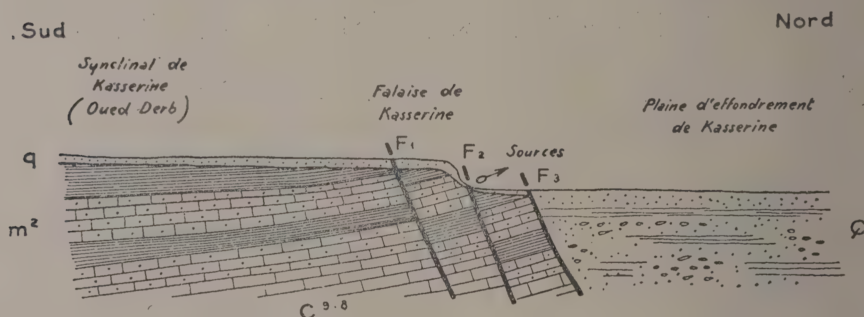


Fig. 9. — Coupe de la falaise de Kasserine.

reposant sur les calcaires campaniens. Au Nord, la plaine quaternaire effondrée de l'oued el Hatab. La zone de fracture complexe réalise en quelques sorte un barrage souterrain naturel.

LA NAPPE

UNITE DE LA NAPPE

Les calcaires, par leur situation, jouent le rôle de drain naturel. Le fait que grès et calcaires ne renferment qu'une seule nappe est mis en évidence par l'étude des caractéristiques dynamiques et chimiques des eaux.

CARACTERISTIQUES

A. — *ETUDE DYNAMIQUE.*

a) *Surface libre de la nappe, niveau statique, écoulement* (pl. IV). — La surface libre de la nappe s'abaisse du Sud au Nord, des cotes 750 à 650, traduisant ainsi une pente, donc un écoulement général en direction de la falaise. La cuvette synclinale du plateau de Kasserine formant une gouttière naturelle, le niveau s'abaisse vers le centre, suivant la topographie. Le recul des courbes vers l'amont, dans le lit de l'oued Derb décèle une pente plus forte indice d'un drainage intense. Les courbes viennent buter contre la faille qui forme un écran. A l'aval, sens d'écoulement et cotes sont nettement différents. Cette disposition, qui a pour conséquence de maintenir à l'amont un niveau plus élevé, permet le débordement de la nappe miocène, qui normalement devrait s'écouler en profondeur, et explique la richesse en points d'eau de cette zone privilégiée contrastant avec l'aridité du plateau.

b) *Débits.* — Le système grès-calcaires débite actuellement par écoulement naturel 350 litres-seconde à l'oued Derb, 25 à Aïn Allouch, 6 à l'Aïn el Kaïd et 20 en suintements divers. Soit un total de 400 litres environ par seconde. Les forages donnent d'importants débits dus à de fortes capacités spécifiques. Le puits d'Aïn Allouche a fourni dans les calcaires 112 litres-seconde pour un abaissement de 9,50 m., celui de l'Aïn el Kaïd dans les grès, après équipement, 21,9 litres-seconde pour 9,75 m. de dépression.

B. — *ETUDE CHIMIQUE.*

a) *Composition ionique.* — Les compositions ioniques des eaux en milligrammes par litres sont identiques à des faibles variations près. L'étude des diagrammes logarithmiques conduit aux conclusions suivantes (fig. 10, p. 38) :

Les eaux sont peu concentrées.

Les eaux du calcaire sont en général moins chargées en sels que celles des grès.

Tous les graphiques sont superposables et caractérisent une nappe unique. Les conclusions exposées lors de l'étude dynamique se trouvent ainsi confirmées : *calcaires et grès renferment une nappe aquifère unique.*

b) *Rapports caractéristiques.* — Nous donnons ci-dessous le tableau des rapports caractéristiques exprimés en millivalences. Cette unité est égale au quotient du poids, en milligrammes par litre de l'élément considéré, par sa valence-gramme.

POINTS D'EAU	SO^4/Cl	Mg/Ca	Na/Ca
EAUX DES GRES			
Aïn el Kaïd (source)	1,4	0,8	1
Aïn el Kaïd (forage)	1,4	0,7	0,8
Aïn Allouch	2,8	0,7	0,4
EAUX DES CALCAIRES			
Aïn Allouch	2,8	1,4	0,6
Sondage N° 3 (O. Derb)	2,9	0,9	0,4

La comparaison de ces chiffres confirme les conclusions des diagrammes logarithmiques. L'identité des eaux de forages dans les calcaires et de la source des grès d'Aïn Allouch est très nette.

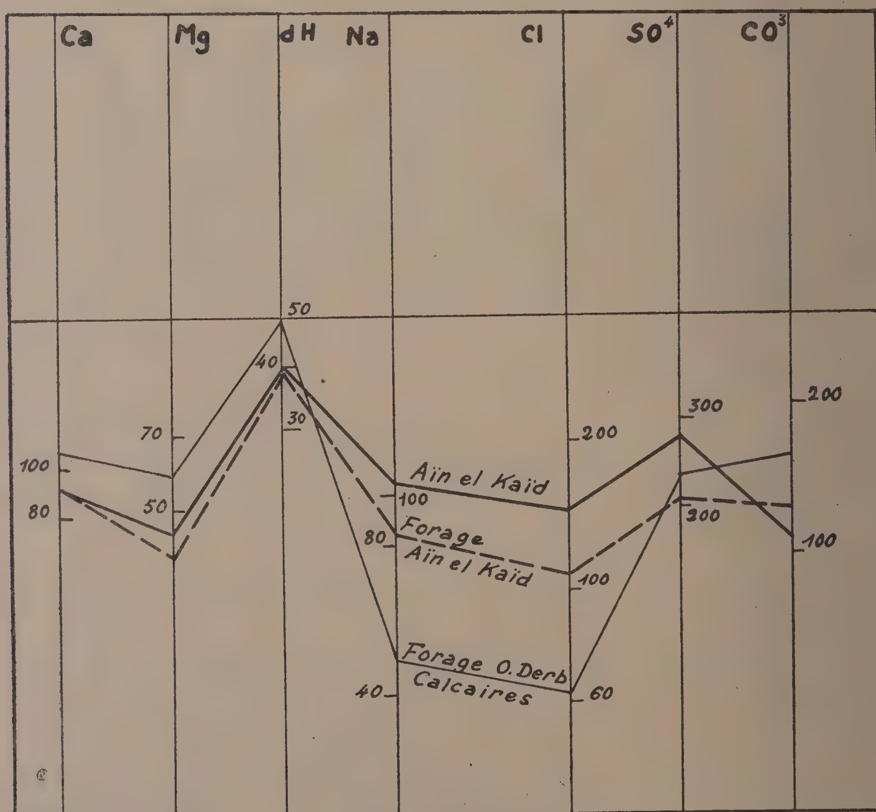


Fig. 10. — Diagrammes logarithmiques des eaux du seuil de Kasserine.

CHAPITRE II

LE SEUIL HYDRAULIQUE DE GAFSA

GENERALITES

Les oasis de Gafsa-Lalla, en Tunisie méridionale, constituent une zone de sources très importante. Les levés géologiques de surface, complétés par de nombreux forages de reconnaissance et d'exploitation, et une étude géophysique par prospection électrique permettent aujourd'hui de se faire une idée précise du mécanisme des émergences, des réserves aquifères, et de préconiser une méthode rationnelle d'exploitation. Nous pouvons distinguer, de part et d'autre de la région des oasis, à l'Ouest les plis du faisceau de Negrine-Metlaoui qui se termine par le djebel ben Younes et, vers l'Est, le djebel Orbata (fig. 11, p. 40). C'est dans l'ensellement de cet axe, à la faveur de dispositions structurales particulières que naissent les sources.

Il s'est constitué ainsi une sorte de goulet, la trouée de Gafsa, comblé par un remplissage de cailloutis constituant, de El Ksar à Lalla, une falaise topographique très nette. Au Nord, s'étend un vaste plateau, terminaison méridionale de la plaine de Madjen Sidi Abbes qui marque une légère pente du NW vers le SE, des cotes 320 à 300 (pl. IV, hors-texte). Il est profondément entaillé sur ses deux bords, Ouest et Est, par les oueds Baïech et Melah. Vers le Sud, c'est la vaste cuvette de Gafsa avec un brusque abaissement d'altitude à 280-270 mètres. Une étude récente nous a permis d'exposer en détails la géologie et l'hydrogéologie de cette région [24]. Le lecteur pourra y trouver des renseignements complémentaires.

ÉTUDE GÉOLOGIQUE

L'étude géologique de la falaise constituée de bancs de conglomérats très grossiers, avait permis de déceler la présence, au pied de cette dernière, d'une importante fracture sensiblement Est-Ouest. En plusieurs points et plus particulièrement dans les tranchées des oueds, on voit les assises prendre un aspect bouleversé, avec des inclinaisons très accentuées pouvant atteindre la verticale. Les sondages ont confirmé la présence de cette grande faille (fg. 12, p. 40).

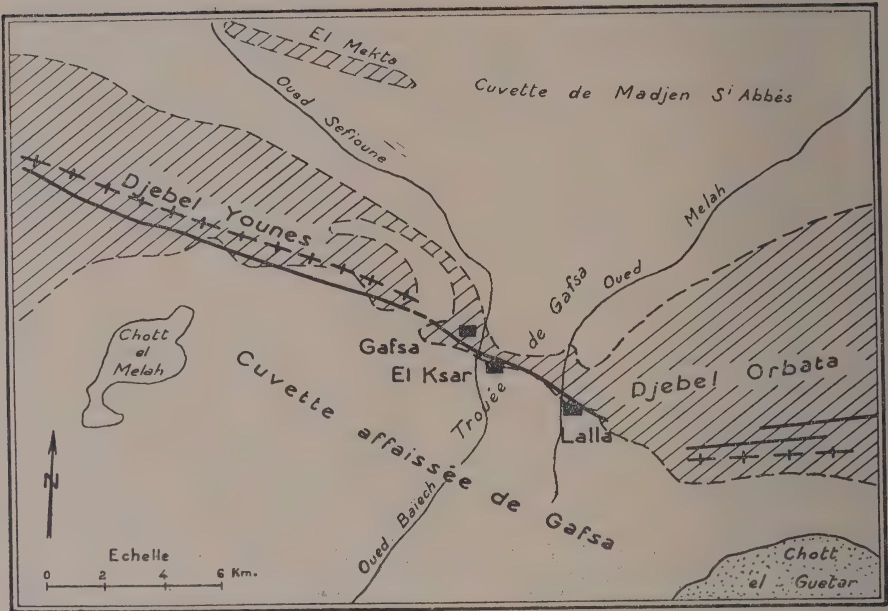


Fig. 11. — Seuil de Gafsa. — Tectonique générale.

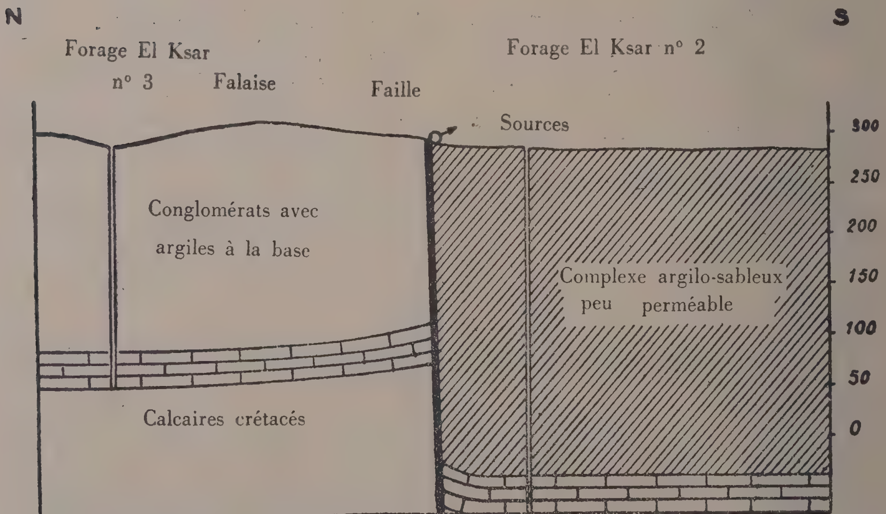


Fig. 12. — Coupe schématique de la falaise de Gafsa.

RESULTATS GEOLOGIQUES DES FORAGES

Tous les forages implantés au Nord de la rupture de pente de la falaise de Gafsa-Lalla, ont recoupé les mêmes terrains. Au sommet, sous un recouvrement quaternaire assez faible, ce sont des alternances de conglomérats, graviers, sables, argiles rouges ou vertes, attribuées aux étages miocène supérieur et mio-pliocène. A la base on atteint des calcaires blancs fissurés. L'étude de surface permet de leur attribuer un âge cénomanien à Sidi Mansour. Leur détermination est plus délicate à El Ksar-Lalla. Toutefois, il paraît logique de les rattacher au Cénomanien (fig. 13, p. 42). Le toit des calcaires marque une pente du NW vers le SE, de 203 mètres au-dessous du sol, à El Ksar n° 3, à 435 mètres à Lalla. Par contre, au Sud, dans la cuvette de Gafsa, un seul sondage, El Ksar n° 2, a atteint avec certitude les calcaires crétacés à la profondeur de 320,30 m. Ils sont donc plus profonds dans cette zone qu'au Nord avec un affaissement d'une centaine de mètres. La nature des assises supérieures est nettement différente. Ce sont des couches de sables et de graviers, avec prédominance des lits d'argile.

Du point de vue géologique la falaise de Gafsa limite donc deux compartiments très différenciés, séparés ainsi que l'étude de surface le laissait prévoir par une importante fracture (fig. 13, p. 42).

STRUCTURE

La structure du goulet de Gafsa résulte de l'interférence de deux plis dissymétriques déversés vers le Sud, les djebels ben Younes à l'Ouest et Orbata à l'Est [E. BERKALOFF, **129** et **132**]. C'est entre ces deux accidents que s'étend la falaise de Gafsa où affleurent les couches allant du Mio-Pliocène au Quaternaire. L'étude stratigraphique montre que le goulet a été comblé au Mio-Pliocène, puis faillé et plissé à la fin de cette période. Les mouvements tectoniques se sont poursuivis au cours du Quaternaire, ainsi que le prouvent des conglomérats, renfermant des silex taillés acheuléo-moustériens, affectés par les plissements nettement visibles au signal de Gafsa [R. VAUFREY, **87**]. Ces mouvements ont provoqué l'effondrement du compartiment méridional, formé de cuvettes comblées de sédiments quaternaires récents et dont les bas-fonds sont encore occupés par des sebkas (chott el Guettar).

ÉTUDE GÉOPHYSIQUE

Dans le but de préciser la structure du compartiment septentrional et l'emplacement de la faille principale, la Direction des Travaux Publics entreprit en 1947 une campagne de prospection géophysique par la méthode électrique. Confiée à la Compagnie Générale de Géophysique, cette mission a donné d'importants résultats que des forages ultérieurs ont

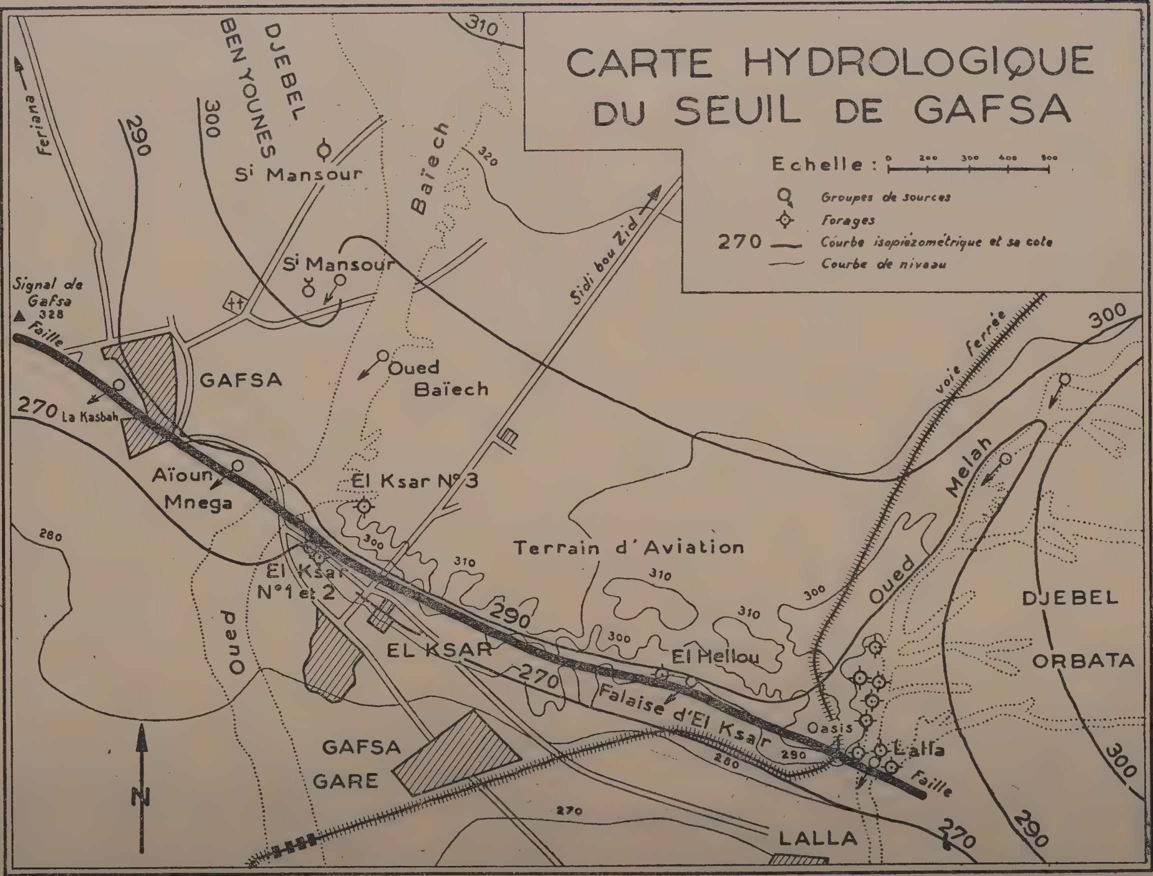


Fig. 13. — Carte hydrologique du seuil de Gafsa.

confirmés. La prospection électrique a montré l'existence de deux compartiments séparés par une zone de fracture, de direction NNW-SSE, correspondant au pied de la falaise topographique. Cette faille directe marque probablement un léger pendage vers le Sud, avec un rejet de 120 à 150 mètres. Sa trace a pu être nettement délimitée. Dans le compartiment septentrional, le substratum calcaire s'enfonce régulièrement vers le Sud-Est avec une pente de quelques degrés. La zone Est, correspondant à la vallée de l'oued Melah, a montré une structure profonde très complexe, due vraisemblablement à des failles méridiennes.

ÉTUDE HYDROLOGIQUE

La région de Gafsa-Lalla constitue une zone d'émergences très importante. Les sources artésiennes, surtout abondantes à la Kasbah et dans les lits des oueds Baïech et Melah, ont conduit les techniciens à forer de nombreux puits jaillissants. La documentation précise que nous possédons actuellement, grâce aux travaux de E. Berkaloff [**129** et **132**] complétés par des études récentes, permet d'élaborer une synthèse hydrologique. Nous étudierons successivement les sources, puis les forages, pour coordonner ensuite les résultats.

LES SOURCES

Les sources de la région de Gafsa-Lalla sont nettement localisées selon deux dispositifs : un alignement WNW-ESE, de la Kasbah de Gafsa à Lalla, correspondant au pied de la falaise, et, au Nord de cette ligne, dans les vallées des oueds Baïech et Melah. Une telle répartition montre nettement l'influence des caractères structuraux sur le régime hydraulique (fig. 12, p. 40). D'Ouest en Est, nous pouvons distinguer plusieurs groupes d'émergences :

Kasbah et Aïoun Mnega.
Sidi Mansour et oued Baïech.
Falaise d'El Ksar.
Oueds Melah et Lalla.

Sources de la Kasbah et de l'Aïoun Mnega. — Ces émergences forment un alignement très net au pied de la falaise. On y compte plus de vingt points d'eau dont le débit total est de 200 litres-seconde à la cote 288-289. La température est élevée, voisine de 30 degrés. Les unes sortent directement du conglomérat, les autres semblent provenir du Quaternaire ou des alluvions. Toutes présentent la même composition ionique qui apparaît nettement sur les diagrammes logarithmiques (fig. 14, p. 44). Le tableau ci-dessous met cette parenté en évidence.

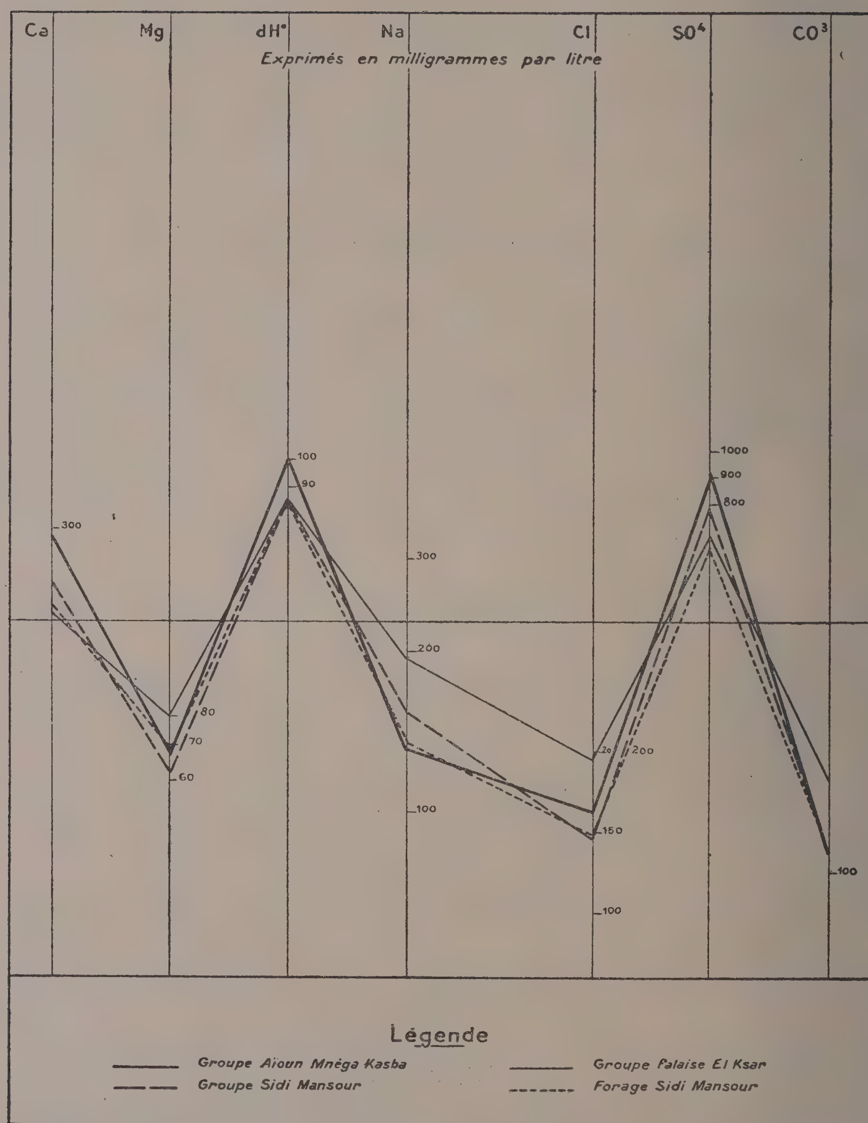


Fig. 14. — DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES DES SOURCES DE GAFSA.

POINTS D'EAU	Gisement	Quantités en réaction pour cent					
		CO^3	SO^4	Cl	Ca	Mg	Na
Aïn Mestoura.......	Conglomérat	6,9	25,1	8	28,4	10,7	10,7
Aïn Thermil........	Conglomérat	7,1	35,5	7,5	27,7	11,3	10,7
Aïoun Mnega.......	Quaternaire	5,5	37,3	7,2	27,9	10,6	11,1
Aïn Faouar.........	Quaternaire	7,1	39,9	8	26,9	11,6	10

SOURCES DE SIDI MANSOUR ET DE L'OUED BAÏECH. — Des émergences apparaissent à Sidi Mansour, au Nord de l'oasis de Gafsa, à l'ennoyage périclinal des calcaires cénomaniens du djebel Younes, recouverts en discordance par les conglomérats mio-pliocènes. L'étude des analyses chimiques montre l'origine commune des eaux et leur identité avec celles du groupe précédent (fig. 14). Ce sont les exutoires de la même nappe.

SOURCES DE LA FALAISE D'EL KSAR. — Peu nombreuses et d'un débit total ne dépassant pas trois litres-seconde, elles manifestent la même origine que les groupes précédents.

SOURCES DE L'OUED MELAH ET DE LALLA. — Ici des différences très nettes de compositions chimiques apparaissent, dues au déversement des nappes crétacées du djebel Orbata, en général plus chargées en sels dissous.

CONCLUSIONS. — Les sources du seuil de Gafsa présentent donc des caractères communs importants :

Niveau hydrostatique voisin : 288-289 à la Kasbah, 290-291 à la falaise d'El Ksar, 290-303 à Sidi Mansour, 268-280 à Lalla.

Caractéristiques chimiques identiques, diagrammes logarithmiques superposables (fig. 14), rapports chimiques caractéristiques analogues, quantité en réaction pour cent du même ordre de grandeur, extraits secs compris entre 1.100 et 1.800 milligrammes par litre.

Ce sont donc les émergences d'une même nappe.

LOCALISATION DES SOURCES (fig. 12, p. 40). — L'étude de la répartition des émergences montre que celles-ci sont toutes situées au Nord d'une ligne joignant la butte du signal de Gafsa à l'oasis de Lalla. Cette particularité caractérise les seuils hydrauliques.

LES FORAGES

Les résultats hydrologiques des forages ont permis de distinguer deux zones très nettes séparées par la falaise de Gafsa. Tous les forages exécutés au Sud donnèrent des résultats négatifs avec des niveaux statiques pro-

CARACTERISTIQUES DES FORAGES DE GAFSA

NOM du FORAGE	Cote du terrain	Prof. de la nappe	Niveau hydrostatique	Cote de la nappe	DEBIT		Capacité spécifique	D. H.	Résidu sec. mgr./l.
					l.-sec.	Niveau			
FORAGES COMPARTIMENT SUD									
Gafsa n° 1....	260	29,37	— 10,56	294,44	52,87	29,61	2,73	181	2.790
El-Ksar n° 1..	296	81	— 26	270	faible		—	72	1.185
El-Ksar n° 2..	296	290	— 67,90		faible	—	—	68	1.190
FORAGES COMPARTIMENT NORD									
Sidi-Mansour n° 1.....	308	10,50							
		81	— 1,50	306,50	6	— 3	—	64	1.334
Sidi-Mansour n° 2.....	309,60	10,50	— 6						
		61,80	— 1,40	308,20	60	1,68	200	67	1.124
El-Ksar n° 3..	300	203	+ 2,95	302,95	110	+ 1	—	—	—
El-Hellou	290,78	—	+ 2	292,78	5	sol	—	—	—
Lalla n° 1....	268,32	—	+ 7,50	275,82	4,5	sol	—	64	1.112
Lalla n° 2....	278,68	23,34	+ 0,50	279,18	3	sol	—	56	1.080
Lalla n° 3....	277,08	29,75	+ 11,16	288,24	13,87	sol	1,24	79	1.328
Lalla n° 4....	279	119	—	—	3,12	sol	0,2	90	1.640
Lalla n° 5....	—	—							—
Lalla n° 6....	—	—							—
Lalla n° 7....		8,50						139	3.650
		47	+ 6,60	284,6	1,4	sol		43	908

fonds et des eaux de mauvaise qualité (voir tableau p. 46). Par contre, les forages de puits en amont de la zone de fracture furent couronnés de succès. Les résultats ont été groupés dans le tableau de la page 46.

Niveaux statiques. — Les cotes de la surface libre montrent une chute brusque de celle-ci (fig. 12, p. 40) avec 249-250 mètres à Gafsa et

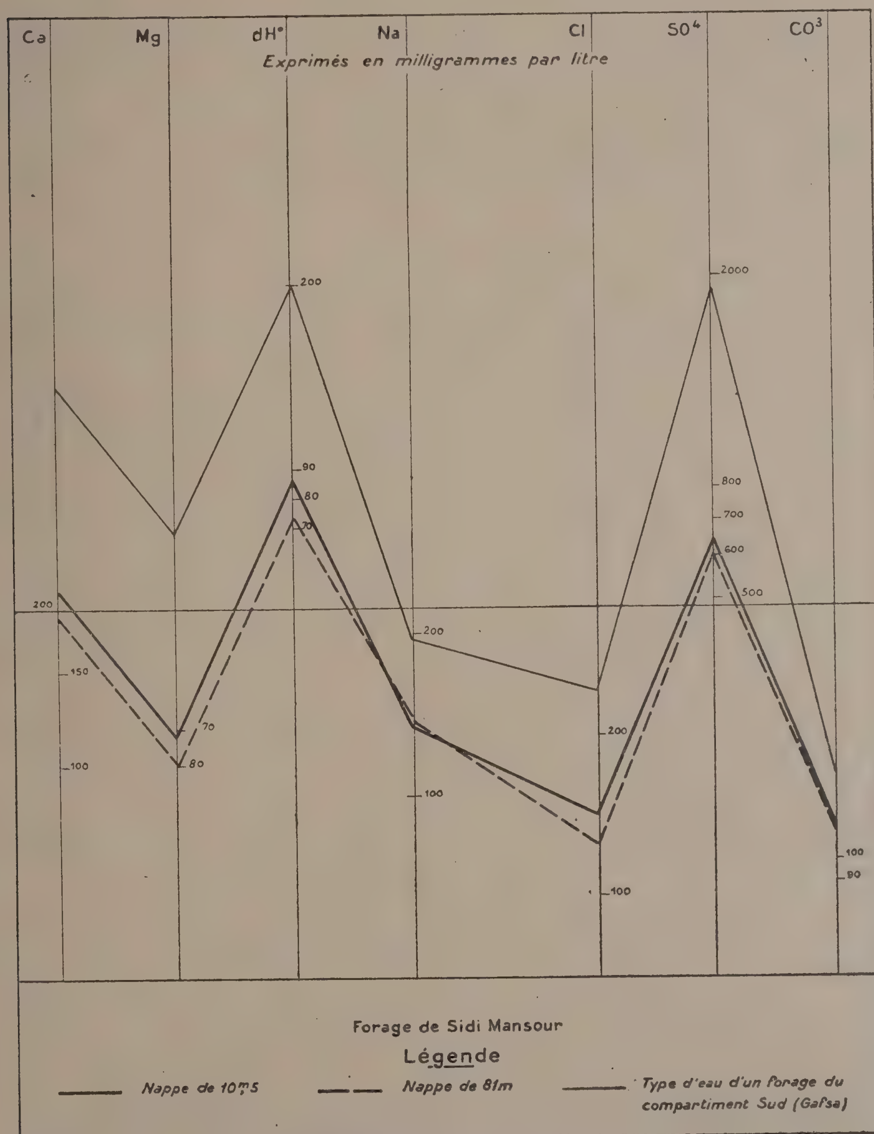


Fig. 15. — Diagrammes logarithmiques des eaux du forage de Sidi Mansour.

270 à El Ksar, sur l'emplacement de la falaise. La pente rapide, de 302 à 270, entre El Ksar-Nord et El Ksar-Sud, distants de 250 mètres, ne peut s'expliquer que par la présence d'un accident tectonique profond.

DÉBITS. — Nous pouvons distinguer dans l'étude des débits deux complexes aquifères : les terrains mio-pliocènes et les calcaires crétacés. Les *terrains mio-pliocènes* avec leurs couches de sables souvent argileux, alternant avec des conglomérats donnent des débits variables. Leur capacité spécifique est comprise entre 0,2 et 2,78. Par contre, *les calcaires*, très fissurés, assurent de gros débits pour de faibles abaissements du niveau hydrostatique. On obtient ainsi, 60 litres-seconde pour un abaissement de 0,25 m. à Sidi Mansour N° 2, soit une capacité spécifique de 200, 110 litres à 1,95 m. en-dessous du niveau hydrostatique à El Ksar N° 3.

ETUDE CHIMIQUE. — a) *Résidus secs.* — La teneur totale en sels dissous est généralement faible. Seuls les résultats de cinq sondages dépassent deux grammes par litre. Elle est peu élevée dans les calcaires, 1.244 milligrammes par litre à Sidi Mansour et 1.190 à El Ksar.

b) *Diagrammes logarithmiques.* — L'examen des diagrammes logarithmiques montre que, quelle que soit la profondeur du niveau aquifère, les graphiques sont identiques, à la concentration près.

On doit conclure à la présence d'une nappe unique. Les calcaires crétacés jouent le rôle de drain collecteur naturel. Leur perméabilité en grand, par fissures, permet une circulation rapide justifiant les débits importants et la meilleure qualité des eaux. Si on compare les résultats des analyses chimiques des eaux de forages à celles des sources, nous mettons en lumière l'identité des deux groupes (fig. 15). Il s'agit d'une même famille chimique.

Dans le compartiment méridional on remarque que la concentration augmente. Les eaux se chargent en circulant dans les couches supérieures de la cuvette effondrée.

c) *Caractéristiques chimiques.* — Les caractéristiques chimiques des eaux des forages confirment les conclusions précédentes. Nous le montrerons par quelques exemples résumés dans le tableau ci-dessous :

NOM	Nappe	Quantités en réaction pour cent					
		Ca	Mg	Na	Cl	SO^4	CO^3
Sidi-Mansour n° 1..	10,50	25,1	12,9	12,6	8,9	31,3	8,9
	81	24,2	12,2	13,7	8,7	32	9,2
Sidi-Mansour n° 2..	61,80	22,8	13,9	14,7	8,3	31,1	9,1
Source d'Aïn el Kaïd.		25,6	11	13	8,5	32	9,1

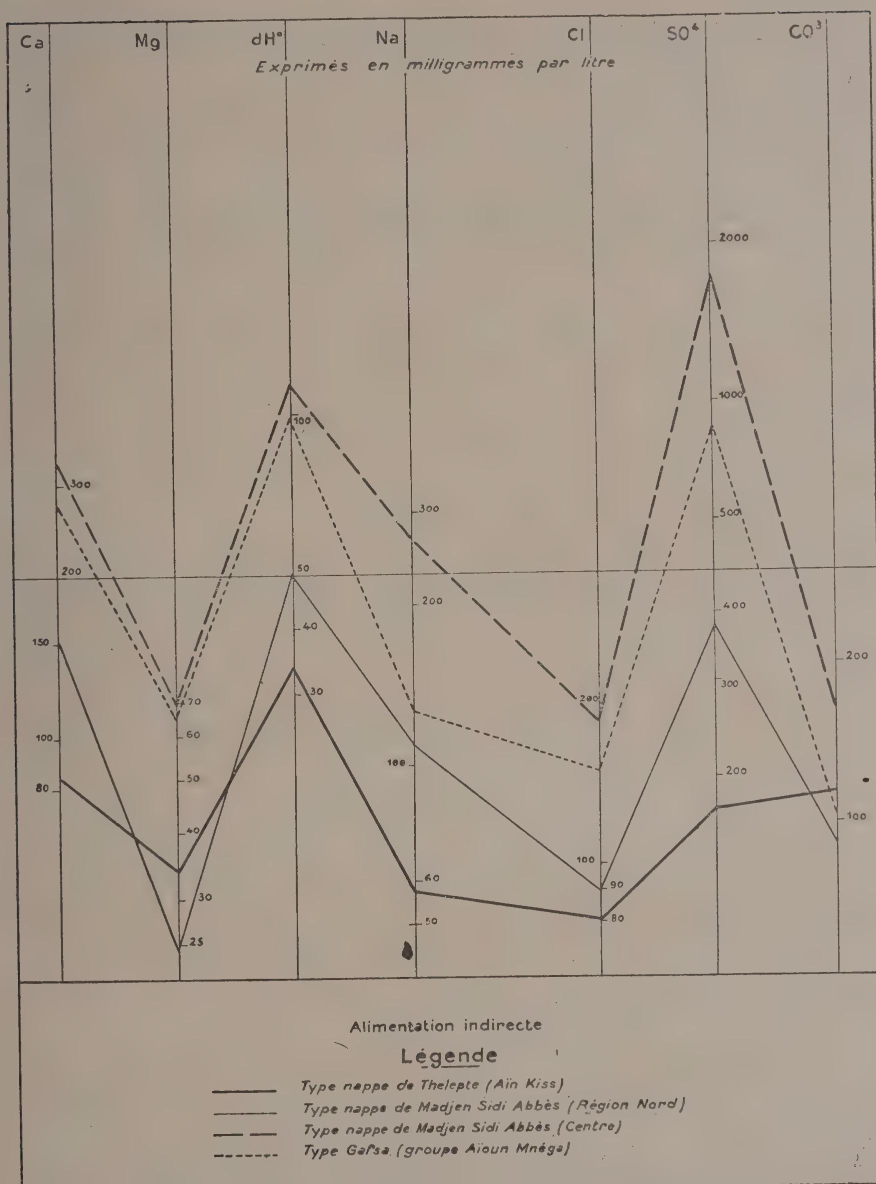


Fig. 16. — Diagrammes logarithmiques des eaux de la zone d'alimentation.

Les horizons aquifères ont les mêmes caractéristiques chimiques avec prédominance très nette des ions Ca et SO⁴. Ils caractérisent une même nappe. L'étude hydrologique des sources et des forages nous conduit aux conclusions suivantes :

Présence d'une seule nappe emmagasinée dans les terrains mio-pliocènes et drainée en profondeur par les calcaires crétacés ;

Chute brusque du niveau hydrostatique en relation avec une zone de fracture.

EXPLOITATION DE LA NAPPE

L'exploitation de la nappe de Gafsa ne peut être réalisée que par des sondages profonds. Le débit artésien de ces ouvrages est conditionné par des règles strictes qu'aucune considération d'ordre quelconque ne saurait infirmer. Ce sont :

Situation en amont de la zone de fracture ;

Cote d'implantation en-dessous du niveau hydrostatique ;

Forage dans les calcaires.

La nappe de Madjen Sidi Abbes s'écoule NW-SE, de la région de Fecises et impératives d'exploitation, dont les limites se trouvent réduites davantage par les possibilités d'emplacement des forages que par le bilan aquifère de cette nappe.

LE SEUIL HYDRAULIQUE

(SON MECANISME)

Les études entreprises permettent de préciser le mécanisme du seuil hydraulique de Gafsa, structure qui, nous l'avons montré à plusieurs reprises, est fréquente en Tunisie.

La faille de Gafsa sépare deux grandes unités hydrauliques :

au Nord, la plaine de Madjen Sidi Abbes ;

au Sud, la cuvette de Gafsa.

La nappe de Madpen Sidi Abbes s'écoule NW-SE, de la région de Feriana à la trouée de Gafsa-Lalla. Son niveau piézométrique s'abaisse progressivement pour atteindre son point bas, à la cote 300 à la falaise, au pied de laquelle il chute brusquement à 270 mètres (fig. 12 et 13, pp. 40-42). Puis les eaux profondes s'écoulent lentement vers le Sud-Ouest.

Le seuil hydraulique apparaît donc par une chute rapide de la surface piézométrique de la nappe, chute qui, dans le cas envisagé, atteint une trentaine de mètres. Les études géologiques ne permettent pas d'attribuer ce phénomène à des différences de perméabilité ou de débit. Il faut en rechercher la cause dans la structure profonde. C'est alors qu'apparaît le rôle essentiel joué par la zone de fractures mise en évidence par la géo-

logie, la géophysique et les forages. Le jeu des failles a abaissé le panneau calcaire méridional interrompant les communications hydrauliques. La discontinuité des couches mio-quaternaires a colmaté partiellement les terrains surincombants. Il s'est ainsi créé un véritable *barrage souterrain naturel* qui maintient à l'amont un niveau hydrostatique élevé. Celui-ci présente la supériorité sur les ouvrages artificiels d'intéresser un volume de terrain considérable, soit, à Gafsa, une tranche de sous-sol de plus de cinq kilomètres de long sur plusieurs centaines de mètres de profondeur.

CHAPITRE III

LE SEUIL HYDRAULIQUE D'HADJEB-EL-AIOUN

Les études de H. SCHŒLLER et de J. DECROCQ [145] dans la région d'Hadjeb el Aïoun, suivies de forages de reconnaissances ont permis de montrer l'existence de deux compartiment séparés par une faille importante. Celle-ci se situe au pied d'une falaise topographique orientée NNW-SSE, haute d'une trentaine de mètres et longue de 12 kilomètres.

Cet accident, masqué par le recouvrement quaternaire, a été mis en évidence par les forages profonds et précisé à la suite de recherches géophysiques par la méthode de prospection électrique.

ETUDE GEOLOGIQUE

LES FORAGES

Au Sud, le synclinal d'Hadjeb el Aïoun dont l'axe passe légèrement à l'Ouest du village, se raccorde par faille aux dômes des djebels Zaouïa à l'Est, et Mrhila à l'Ouest. Quatorze sondages, dont le plus profond a atteint 324 mètres, y ont recoupé sur 300 mètres environ, sous les dépôts quaternaires, des alternances de grès plus ou moins sableux et de marnes d'âge miocène supérieur (Pontien). Le sommet est vraisemblablement pliocène. On peut attribuer ces couches au complexe continental qui, englobant les étages pontien, pliocène et quaternaire, repose sur les argiles tortoniennes.

Au Nord, s'étend la vaste vallée de l'oued Zeroud et de son affluent, l'oued Zerga. Un forage a reconnu, sur 418 mètres, les argiles avec quelques bancs de grès du Tortonien. Nous sommes donc en présence d'une faille, ou plutôt d'une ligne de fractures résultant d'une série de décrochements d'orientation générale NNW-SSE et située à la rupture de pente. L'ensemble se complique, en outre, dans le panneau méridional, de failles obliques et orthogonales.

ETUDE GEOPHYSIQUE

L'étude géophysique a donné les résultats suivants.

La faille d'Hadjeb el Aïoun apparaît nettement sur les profils transversaux et est souvent marquée par des *à-coups de prise*.

Les sondages électriques profonds, mettant en évidence, sous deux à trois cents mètres de sédiments marno-gréseux, la présence d'une énorme épaisseur de marnes (plus de 700 m.), ont conduit à réviser complètement la stratigraphie du synclinal et montré l'importance du phénomène de subsidence miocène, importance que les sondages mécaniques ne laissaient pas entrevoir.

Les profils ont permis de déceler la structure du Miocène, affecté d'ondulations et de zones de fractures. Ils ont indiqué le pendage des grès vers le Sud. Le complexe aquifère qui se trouve au centre immédiatement sous le Quaternaire s'enfonce avec un faible pendage SW sous les marnes jusqu'à une faille transversale.

Les études géologiques et géophysiques ont donc montré la présence à Hadjeb el Aïoun d'une zone de fracture qui du point de vue lithologique délimite deux compartiments dont l'un méridional perméable vient buter au Nord contre un complexe imperméable. C'est cette disposition qui assurant le colmatage du synclinal amont (méridional) constitue un barrage souterrain naturel (fig. 17, p. 55, et 18, p. 56).

ETUDE HYDROLOGIQUE

Nous avons montré que l'accident structural d'Hadjeb el Aïoun était marqué par une falaise topographique. Le pied de la pente qui correspond à la cote 310-320 est jalonné par une ligne de nombreuses sources (plus de 24) d'un débit total moyen de 30 litres-seconde. Elles naissent sous forme de griffons à une température de 25 degrés centigrades, donc plus élevée que la normale. Leur teneur en résidu sec varie de 602 à 1.775 milligrammes par litre. Ces caractéristiques, artésianisme et thermalisme, avaient frappé J. Decrocq qui avait conclu en faveur d'émergences de fractures.

Nous avons tracé les courbes isopiézométriques des nappes sur une carte (fig. 17). Leur examen appelle d'importantes remarques. Dans l'ensemble, on peut distinguer deux zones aquifères.

Au Sud de la falaise, les courbes montrent l'existence d'un courant général dirigé SSO-NNE avec alimentation latérale importante. Puis, brusquement, sur l'emplacement de la rupture de pente on constate une chute rapide du niveau de la nappe de la cote 340 à 310-320, avec une perte de charge de 70 millimètres par mètre. Celle-ci ne peut être justifiée par des variations ni de perméabilité, ni de débit.

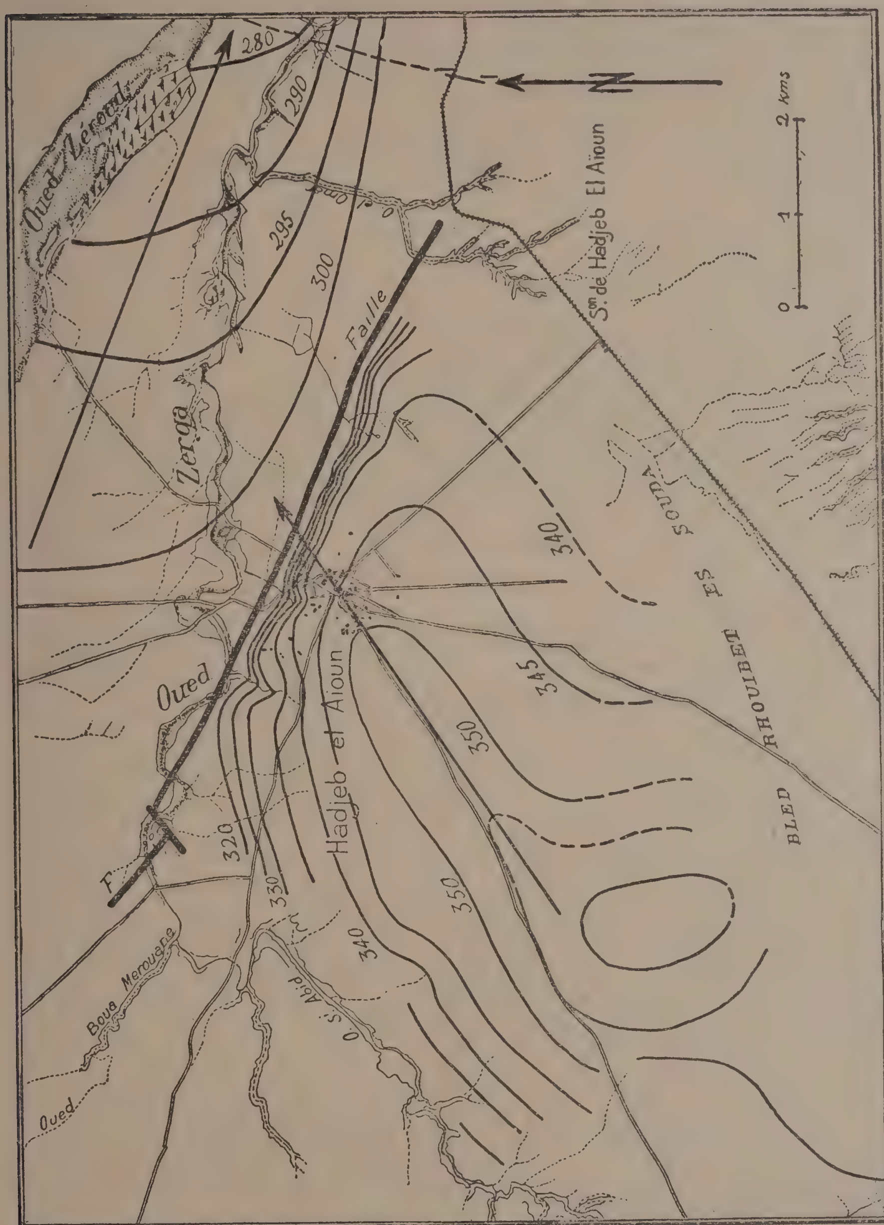


Fig. 17. — Carte hydrogéologique de la région d'Hadjeb el Aioun.

Au Nord, dans la vallée de l'oued Zeroud, règne un système aquifère différent. L'écoulement devient NNO-SSE. La pente hydraulique est peu accentuée, 3,6 environ. La qualité de l'eau est moins bonne, les teneurs en résidu sec passent à 2.620 et même 3.435 milligrammes par litre. Cette anomalie resta longtemps inexpliquée. En 1943, J. DECROCQ, à la lumière des renseignements recueillis à Kasserine, se basant sur la répartition des sources, leur venue par griffons et leur température indiquant nettement une origine profonde, admit l'hypothèse d'une faille affectant le substratum et se traduisant en surface par la falaise. Les recherches ultérieures ont pleinement confirmé cette manière de voir.

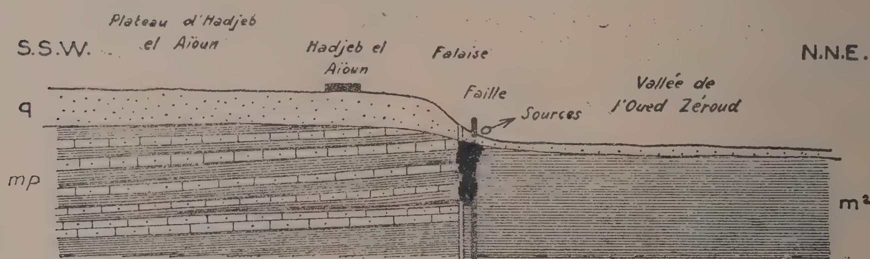


Fig. 18. — COUPE DE LA FALAISE D'HADJEB EL AIOUN.

Le schéma hydrologique apparaît alors clairement (fig. 18). A l'amont, un compartiment de terrains perméables formant roche-réservoir à niveau hydrostatique élevé est colmaté vers l'aval par le jeu de fractures amenant au contact des sédiments moins perméables. Il est évident que ce barrage souterrain n'est pas parfait et que des fuites se produisent.

De nombreux forages d'exploitation ont été exécutés sur le versant Nord de la falaise, donc dans le compartiment méridional où le niveau hydrostatique est le plus élevé. Ils présentent ainsi un débit artésien. Les assises formées d'alternances de grès plus ou moins sableux et de marnes (complexe mio-pliocène avec Quaternaire au sommet) donnent naissance à des nappes captives empilées dont le niveau statique oscille entre 345 et 350 mètres. La cote du terrain s'abaissant de 340 à 320-310 mètres, les forages situés à mi-hauteur dans les ravins transversaux sont artésiens et donnent de bons débits variant de 5 à 30 litres par seconde. Le résidu sec est faible, de 0,5 à 2 grammes par litre.

CONCLUSIONS SUR LES SEUILS HYDRAULIQUES

Les seuils hydrauliques sont la conséquence de structures géologiques particulières. Leur cause profonde est la présence de failles qui, créant des discontinuités lithologiques dans les structures ainsi réalisées, constituent de véritables barrages souterrains naturels (fig. 19).

Ils apparaissent sur les cartes hydrogéologiques par des courbes isopiézométriques brusquement rapprochées, marquant une chute rapide de la pente de la surface libre de la nappe et des alignements de sources artésiennes ou semi-artésiennes à température plus élevée que la moyenne normale.

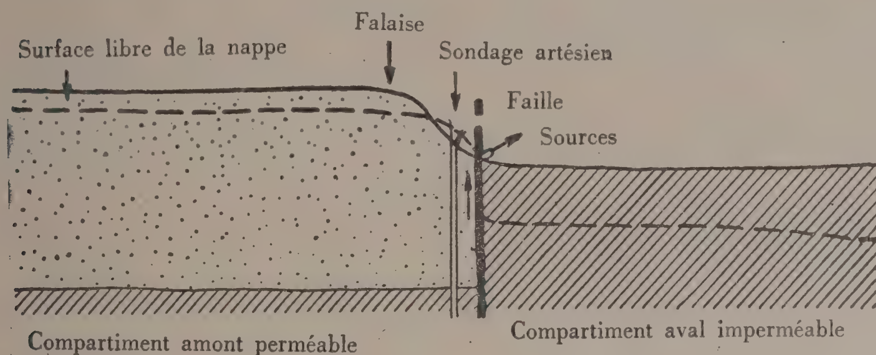


Fig. 19. — Coupe montrant le schéma général des seuils hydrauliques.

CHAPITRE IV

EXPLOITATION DES NAPPES

Les structures hydrogéologiques, présentées par les seuils hydrauliques, impliquent un mode d'exploitation rationnel dont nous exposerons les règles essentielles.

L'exploitation des ressources aquifères des seuils hydrauliques doit être réalisée par des *sondages profonds*. Le débit artésien de ces ouvrages est conditionné par des règles strictes. Ce sont (fig. 20) :

Situation en amont de la zone de fracture ;

Cote d'implantation au-dessous du niveau hydrostatique ;

Captage dans les niveaux les plus perméables.

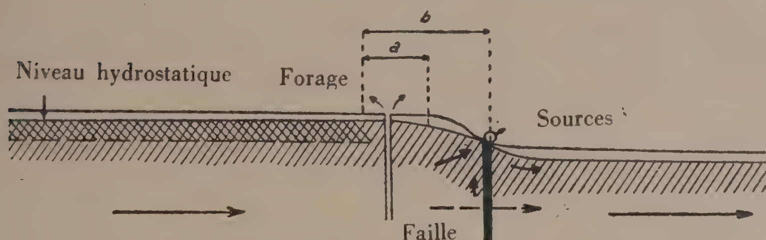


Fig. 20. — Exploitation des seuils hydrauliques.

Situation en amont de la zone de fracture. — On devra, dans tous les cas, se situer en amont de la zone de fracture, dans le compartiment où le niveau hydrostatique est le plus élevé. Cette première condition entraîne des études géologiques détaillées et précises. En Tunisie les méthodes géophysiques par prospection électrique ont donné d'excellents résultats. Elles sont apparues comme les plus appropriées et les plus économiques.

Cote d'implantation au-dessous du niveau hydrostatique. — Les forages sont placés sur les pentes des falaises topographiques et dans les petits ravins transversaux. Cette méthode a été utilisée à Hadjeb el Aïoun et Gafsa.

Captages dans les niveaux les plus perméables. — On recherchera les niveaux présentant la plus grande perméabilité, donc les capacités spé-

cifiques les plus élevées. A Gafsa ce sont les calcaires fissurés, à Kasserine les grès grossiers et à Hadjeb el Aïoun les niveaux sableux.

L'exploitation de ces structures aquifères pose des problèmes généraux que nous résumerons en quelques lignes. Si l'on se reporte au schéma général, on observe que la zone de perte de charge est très localisée. Vers la faille, des fuites se produisent. Elles se répartissent, à la surface, par des sources, et en profondeur, dans le recouvrement du panneau aval. Or, si nous voulons transformer notre structure en réservoir naturel, nous devons viser un double but :

supprimer ou, plutôt, diminuer les trop-pleins ;

conduire l'exploitation en fonction des besoins en eau de la région et non en considération des pluies et des crues de la nappe.

Nous aboutirons ainsi à une régularisation annuelle et probablement interannuelle des débits. La zone préférentielle des captages se situe alors à la rupture de pente hydraulique, où le niveau piézométrique est élevé et où toute exploitation intéresse une tranche considérable de la nappe. Tout abaissement de niveau se traduira à l'aval par une réduction des fuites vers la surface et le recouvrement.

Ce sont ces zones que les études en cours ont pour but de déterminer.

TROISIEME PARTIE

LA NAPPE MIOCÈNE DE LA TUNISIE CENTRALE

par R. Dégallier

GENERALITES

Depuis le bref aperçu de J. ARCHAMBAULT, intitulé *Observations hydrogéologiques dans le Centre Tunisien* et présenté en 1941, bien que de nombreuses études d'hydrogéologie aient été faites postérieurement dans cette région, aucune vue d'ensemble n'avait été esquissée. Toutefois, le problème a été traité dans ses grandes lignes et placé dans le cadre de l'hydrogéologie de la Tunisie par le même auteur, en 1947 [**6**]. Nous nous sommes efforcés ici de développer le sujet en tenant compte des nombreuses études de détail effectuées dans la région jusqu'à fin 1951.

Ce travail embrasse le quadrilatère Feriana-Sbiba-Hadjeb el Aïoun-Sidi bou Zid, c'est-à-dire la majeure partie de la Tunisie centrale. Une partie stratigraphique permettra de situer le Miocène dans l'ensemble des terrains affleurant dans la région. La partie tectonique décrira les mouvements qu'ont subi ces terrains. Dans la partie hydrologique, de beaucoup la plus importante, nous suivrons sur l'esquisse hydrogéologique (pl. IV) les péripéties de l'écoulement de la nappe. Nous verrons comment de Feriana elle poursuit sa route vers Kasserine et en aval, dans la plaine de l'oued El Hateb de Kasserine ; quelles relations les nappes de cette plaine peuvent avoir avec les nappes de Sbeïtla. Puis nous traverserons la longue chaîne anticlinale allant de Feriana à Sbeïtla. Puis nous traverserons la longue chaîne anticlinale allant de Feriana à Sbeïtla et au delà, pour étudier la nappe immense allant d'Hadjeb el Aïoun à Sidi bou Zid en passant par le seuil de Djilma.

Nous verrons ensuite quelle est la destinée de cette nappe miocène, dans quelles autres nappes elle se déverse au N, à l'E et au S, où nous parcourrons rapidement la nappe du Bled Seugdal et le bassin d'alimentation des émergences de Gafsa.

Un chapitre sur la qualité de la nappe montrera dans ses grandes lignes l'évolution chimique de notre nappe miocène.

Cette étude est extraite d'une monographie plus détaillée : *La nappe miocène de Tunisie centrale* [**147**].

CHAPITRE PREMIER

ETUDE GEOLOGIQUE

STRATIGRAPHIE

TRIAS AU CRETACE MOYEN

Les étages du Trias au Crétacé inférieur ne jouent qu'un rôle très réduit dans l'hydraulique de la nappe miocène.

Excepté, dans des cas d'alimentation indirecte, les niveaux perméables en grand du Crétacé moyen, ne donnent habituellement que des points d'eau peu importants. Il est probable que des sondages bien placés pourraient produire de bons résultats.

SENONIEN

En général l'*Emschérien*, comprenant le Coniacien et le Santonien, est formé de 100 à 200 m. d'alternances de marnes, de lumachelles et de calcaires, où les marnes prédominent de beaucoup ; l'*Aturien* comprend 50 à 200 m. de calcaires cristallins clairs où seul le *Campanien* a été reconnu, avec, parfois, comme à Sbeïtla (dj. Bridge), 10 à 50 m. de calcaires dolomitiques siliceux roux au sommet.

Dans l'anticlinal du dj. Bireno, au NW du synclinal de Sbiba, le Sénonien est formé de 1.000 m. de marnes avec 70 m. de calcaires campaniens au sommet. Dans le dj. Chambi, les épaisseurs semblent être du même ordre — 700 m. — mais le sommet de la série n'est pas visible.

L'ossature des dj. Semmama et Douleb et la carapace du dj. Maargueba sont formés par des calcaires de la base de l'Emschérien (Coniacien et Santonien inférieur). Ces calcaires se retrouvent au dj. Mrhila où tout le Sénonien est calcaire, sauf l'Emschérien supérieur, ou mieux le Santonien supérieur, formé de marnes sableuses à intercalations calcaires. C'est par l'intermédiaire du Coniacien calcaire que l'eau provenant du Miocène parvient au jour pour donner les sources de Sbeïtla.

Les calcaires et dolomies du Crétacé ont été fortement fissurés par

les mouvements tectoniques qu'ils ont subi. L'eau a agrandi ces fissures et établi un régime de circulation souterraine de type karstique. Témoin les grottes et fissures de la région de Feriana à moitié remplies d'argiles rouges, résidus de la dissolution des calcaires. Il se peut aussi que ces argiles rouges ne soient ici que des argiles aquitaniennes déposées dans les fissures et diaclases préparées par l'érosion anté-miocène des calcaires campaniens.

NUMMULITIQUE

Eocène. — Dans la plus grande partie de la Tunisie centrale, le Miocène est en contact direct avec le Crétacé. Il y avait émersion pendant l'Eocène. La série du dj. Nara [2], à la limite E de notre carte, la plus complète, comprend à la base des marnes à gypse, foncées, paléocènes ou suessoniennes, de 60 à 250 m. d'épaisseur. Puis, sur 50 à 120 m. de calcaires lutétiens en gros bancs se trouvent les quelques 500 m. d'alternance de grès, calcaires et lumachelles improprement appelées marnes auversiennes et appartenant au Lutétien supérieur. *Au point de vue hydraulique*, l'Eocène joue le rôle d'un écran, empêchant une intercommunication des nappes crétacées et miocènes. Or, c'est précisément le drainage des grès miocènes par les fissures des calcaires crétacés qui donne aux émergences importantes de la Tunisie centrale leur caractère si particulier.

Oligocène. — L'Oligocène est formé d'alternances de grès à Nummulites et de marnes au-dessus desquels viennent des grès massifs. Le caractère régressif qu'accusent ces formations s'installe de plus en plus et des marnes rouges, plus ou moins gréseuses et souvent gypseuses, se déposent.

Aquitanien. — Les marnes rouges qui succèdent à ces grès, attribuées à l'Aquitanien parce que comprises entre l'Oligocène et le Burdigalien datés, mais qui pourraient aussi bien faire partie d'un de ces deux étages, ont une extension géographique générale. On les trouve en effet autant sur la région qui était émergée que sur celle qui était immergée. On est ainsi tenté, suivant la zone que l'on considère, d'y voir soit la fin de la régression oligocène, soit le début de la transgression miocène.

Formation continentale et laguno-désertique, cet Aquitanien est très variable quant à son *épaisseur*. Habituellement, d'une trentaine de mètres, on en observe plusieurs centaines à l'Aïn el Hassi (6.048/4), à une dizaine de km. à l'W de Kasserine, alors qu'à l'Aïn Allouche (182/4), près du Contrôle Civil de Kasserine, des sondages ont montré les grès miocènes en contact direct avec les calcaires sénoniens et cela à 200 m. à peine d'affleurements aquitaniens bien visibles dans la tranchée du

chemin de fer. Au col du Bazina, au S de Sbeïtla, on voit ces marnes rouges, épaisses d'au moins 200 m., s'effiler vers l'W, pour disparaître totalement sous les grès fins du Burdigalien, sur moins de 4 km.

MIOCENE

Vindobonien. — Il est formé de quelques 2.000 m. de grès constitués essentiellement de grains de quartz.

De nombreuses intercalations marneuses, surtout à la partie supérieure de la série compartimentent la nappe aquifère en autant de niveaux distincts ; ces niveaux sont lenticulaires d'extension très locale, et aucun parallélisme de détail n'est possible entre les différentes régions naturelles de la Tunisie centrale.

A la base de la série, on reconnaît cependant par endroits, grâce à la présence de Pectinidés, un Burdigalien caractérisé.

Pontien. — Au-dessus du Vindobobien, se trouve un niveau très épais de limons, de cailloutis, d'argiles et de marnes brun-rouge, connus en affleurements ou par sondages au S d'une ligne joignant Feriana au dj. Zaouia. Dans le Sud tunisien, ces mêmes terrains renferment une faune pontienne. Les marnes brun-rouge qui forment la majeure partie de cet étage admettent des conglomérats à éléments crétacés et des passées sableuses ou limoneuses donnant lieu à de petites nappes (Aïn Nouioua 6817/4 dans le synclinal des Ouled Moussa au SE du dj. Selloum). *Le rôle* de ce Pontien imperméable est souvent de déterminer des nappes perchées dans le Quaternaire.

L'extrême irrégularité des précipitations et surtout l'incertitude quasi-totale où l'on se trouve quant à l'évaluation des coefficients d'infiltration et d'évaporation, ne permettent de faire aucun *calcul d'alimentation* de la nappe. Tout ce qu'on peut dire est que si les petites averses profitent à l'agriculture, seules les grosses pluies parviennent à alimenter la nappe profonde.

QUATERNAIRE

Le Quaternaire recouvre d'immenses surfaces en Tunisie centrale. Il ne laisse percer habituellement que la partie centrale des djebels crétacés, où, le plus souvent, n'affleurent pas les termes supérieurs du Crétacé. En outre, ce n'est qu'à la faveur des gorges et ravines creusées par

les oueds qu'on a pu se faire une idée de la nature des terrains miocènes.

Sableux, calcaire ou marneux, formé d'éléments détritiques de toute nature et de tout calibre ou de résidus d'évaporation variés, le Quaternaire ne se distingue pas hydrologiquement du Miocène. De même que dans le Miocène, des niveaux marneux peuvent déterminer la formation de petites nappes perchées (puits du Bled Rechigue entre Feriana et Kasserine : 6199/4, 6200/4, 6202/4, 6203/4).

Un caractère particulier au Quaternaire de Tunisie est l'existence de véritables bassins de subsidence, décrits dans la première partie de ce fascicule.

TECTONIQUE

L'émersion de la Tunisie centrale durant les temps éocènes était déjà la manifestation d'un mouvement précurseur des mouvements alpins (*phase pyrénéenne*). Mais la région émergée était loin d'être un plateau horizontal. En certains endroits, l'érosion anté-miocène a atteint le Cénomanien, ce qui correspond à 500 ou 1.000 m. de terrains enlevés, alors qu'en d'autres, elle a à peine touché le Campanien. Cela prouve que des ondulations, probablement à grand rayon de courbure, existaient. La direction de ces déformations était SE-NW, c'est-à-dire perpendiculaire à la direction des chaînes actuelles, ainsi que le montre une de ces structures les plus nettes, dont l'axe passe par les dj. Krechem el Kelb et Dheroia, entre Kasserine et Feriana. Les grandes failles de Sbiba, Hadjeb el Aïoun, Kasserine, sont parallèles à cette transversale Dheroia-Krechem el Kelb, et trouvent leur origine profonde dans les mêmes phénomènes.

Il est particulièrement important pour la compréhension de l'hydrologie de la Tunisie centrale d'admettre l'hypothèse que *la ligne directrice de la tectonique anté-miocène, ou plutôt anté-éocène est orientée SE-NW et EW*. L'effet de l'érosion sur ces plis anciens a été de couper les strates en biseau, de sorte que les limites des différents étages sous les synclinaux actuels sont aussi soumises à ces directions.

Les faciès plus marneux du Vindobonien supérieur marquent un approfondissement de la mer miocène, causé par des mouvements alpins précurseurs, mais ils peuvent aussi être dus à un amollissement général des reliefs.

Les chaînes SW-NE créées par la *phase paroxysmale des mouvements alpins* ont leur flanc SE plus incliné que le flanc NW. La faille d'Aïn bou Rhelem, longeant tout le flanc SE du dj. Mrhila, est le résultat de cette tendance au déversement d'un arrière-pays surélevé (flanc NW) sur un avant-pays affaissé (flanc SE). En même temps que le relaiement de la chaîne dj. Selloum-dj. Feriana par le dj. Goubeul, se produit à Feriana le changement de direction de la chaîne, de NE-SW à E-W. Cette torsion peut expliquer peut-être la faille de Ras el Aïne, qui bordant le flanc N du dj. Feriana, est sans doute une cause importante de la formation des sources en cet endroit.

La tectonique si particulière de la bordure du Sahel [G. Castany, 2], c'est-à-dire des dj. Nara, Sidi Kralif, Cherahil, etc..., s'est superposée à la tectonique du style de la Dorsale tunisienne en maints endroits. A rapporter à cette influence la faille de Kef Ennsoura, qui sépare les dj. El Roua et Zaouia, et à laquelle on doit peut-être les émergences du groupe Aïn Bel-Aïn Garsa et la lignée de sources à l'E du Koudiat Hameïma.

CHAPITRE II

HYDROLOGIE

DYNAMIQUE DE LA NAPPE

Nous passerons ici en revue successivement, en suivant l'écoulement de la nappe d'W en E, les principales émergences de la Tunisie centrale, qui font toutes partie de la nappe miocène.

Nous tenons à souligner ce que les courbes isopiézométriques ont d'arbitraire ; elles ne sont tracées que d'après les renseignements d'un très petit nombre de points d'eau qui, en outre, appartiennent souvent à des nappes différentes, ou qui doivent souvent leur existence à des conditions purement locales. Il nous semble cependant que le large usage que nous en faisons ici est justifié par les résultats obtenus, autant comme explication de faits ayant semblés aberrants que comme suggestion d'hypothèses de travail fécondes.

FERIANA

Le sommet de la nappe miocène de la Tunisie centrale se trouve en Algérie, à quelques kilomètres de la frontière, au point le plus élevé du synclinal d'Oum Ali, prolongement du synclinal de Kasserine vers l'W. A Oum Ali, sur la frontière même, on a à la cote 900 des sources incontestablement miocènes (5402/4). Les rares autres points d'eau du synclinal et des puits, permettent cependant de tracer les courbes isopiézométriques. Sur les 20 km. s'éparant l'oued Bou Haya de la frontière, la différence de niveau de la nappe est de 100 m. à Kasserine, la dépression causée par les émergences de l'oued Derb est du même ordre de grandeur ; la pente de la nappe, de 0,5 à 1,5% est la même, et, comme il n'y a pas de raison de supposer une perméabilité différente pour les grès miocènes, il en résulte que les débits des deux systèmes sont égaux.

Le débit à Kasserine est de 300 à 400 litres-seconde visibles, mais les pertes de la faille, alimentant les nappes profondes du fossé de l'oued el Hateb, peuvent être du même ordre. A Feriana on ne mesure que 50 l.-s., mais c'est sans exagération que nous pensons pouvoir évaluer à 500 l.-s. les pertes au profit de la nappe de Gafsa. Celles-ci empruntent

probablement pour leur plus grande part le synclinal de Feriana, où les grès miocènes forment une conduite poreuse dont la section moyenne aurait un kilomètre de largeur et cent à cent cinquante mètres de hauteur.

La longueur du drain de l'oued Derb donnant à Kasserine 300 l.-s. est de 8 km. environ, tandis qu'à Ras el Aïne de Feriana toutes les sources (débit total de 50 l.-s.) se trouvent dans un rayon de 200 m. La perméabilité que cela implique paraît peut compatible avec la seule perméabilité en petit des grès miocènes. Nous rejoignons ici J. ARCHAMBAULT dont l'idée était que les calcaires campaniens fissurés avaient une part importante dans la genèse des sources de Feriana.

Un autre fait apporte une confirmation précieuse à cette manière de voir. Nous avons vu que le Miocène est transgressif sur la chaîne pyrénéenne arasée, de direction NW-SE, et dont l'axe passe par les dj. Krechem el Kelb-el Dheroia. L'arasement a coupé en biseau différents étages crétacés, en particulier le Campanien, l'Emschérien, le Turonien et le Cénomanien. Les limites de ces étages doivent donc avoir une orientation NW-SE, et il peut en être de même pour les termes miocènes transgressifs sur notre bombement érodé. Autant qu'on peut en juger avec le peu d'affleurements existants, les marnes aquitaniennes, écran possible entre les grès miocènes et les calcaires campaniens dans le synclinal d'Oum Ali, ne dépassent pas vers l'E les abords de l'oued bou Haya.

Les grès peuvent donc être en contact direct avec les calcaires entre l'oued bou Haya et une ligne joignant le défilé du Fedj En Naam, à l'extrémité W du dj. Krechem el Kelb, limite orientale probable des calcaires campaniens.

Le débit d'une nappe en un point se marque par un entonnoir dans la surface piézométrique, et réciproquement une dépression dans une surface piézométrique indique une émission de la nappe. A Kasserine, la dépression se trouve bien autour de l'oued Derb ; à Feriana, elle ne se trouve pas autour des sources, mais autour d'un point situé à 5 km. au NNW de Thelepte, près de l'oued bou Haya, précisément sur cette zone où nous pensons que les grès sont transgressifs sur les calcaires. C'est donc en ce point que les eaux miocènes sont drainées par les calcaires campaniens, pour ressurgir sous les grès à Ras el Aïne (4860/4) pour faible part et pour la grande part pour s'écouler autour du dj. Feriana ou à travers les calcaires vers la nappe de Gafsa. Toute la région où les nappes miocène et campanienne sont en large intercommunication présente une surface piézométrique quasi-horizontale, ce qui prouve la grande perméabilité des fissures des calcaires. Le niveau de 775 m. est constant dans toute la zone Thelepte-Oglat el Garna. La cote des émergences d'Aïn el Kiss (678 m.) et de Ras el Aïne (765 m.) vient de la forte perte de charge que l'eau subit en traversant les grès recouvrant les calcaires.

Si ces hypothèses sont justes on est obligé de supposer que la faille

de Ras el Aïne coupe le Campanien en deux compartiments hydrauliques distincts :

sous le synclinal de Feriana la partie effondrée avec un niveau statique maximum de 775 m.;

la partie surélevée formant le dj. Feriana, avec un niveau statique de plusieurs centaines de mètres plus bas, dépendant déjà des émergences de Gafsa.

A l'W des sources de Ras el Aïne, aucun point d'eau ne permet de se faire une idée de l'écoulement de l'eau dans le synclinal de Feriana. C'est une nappe perchée, mais alimentée par les colatures des irrigations de Feriana, qu'exploitent les puits de la plaine au S.

SYNCLINAL MIOCENE DE KASSERINE

Nous avons cru que la nappe campano-miocène entre l'oued bou Haya et l'Oglet el Garaa s'écoulait vers le synclinal de Feriana et donnait naissance aux sources de Ras el Aïne et d'Aïn el Kiss. Mais cette nappe possède un autre exutoire possible : Kasserine.

Sous le synclinal du plateau de Kasserine, le mur de la nappe miocène est constitué, aux endroits où les argiles aquitaniennes font défaut, par des alternances imperméables et perméables en grand de la série crétacée, qui dessinent probablement sous le Miocène la carte géologique de notre transanticlinal éocène reliant les dj. Dheroia et Krechem el Kelb.

La nappe est à la cote 750 dans la zone où nous supposons que passe l'axe de ce transanticlinal. Les nappes contenues dans les niveaux perméables du Crétacé — calcaires et dolomies du Cénomanien, dalles supérieure et inférieure du Turonien, calcaires du Sénonien — auront des niveaux statiques dépendant de leur zone d'alimentation et s'échelonnant entre 750 et 665, cote de la nappe campanienne à Kasserine. Les nappes les plus profondes auront l'*artésianisme* le plus fort.

Les calcaires campaniens n'atteignent probablement pas vers l'E la région de l'Oglet el Garaa, où se trouve leur limite d'érosion. Le trop-plein de leur nappe est donc obligé de retourner aux grès miocènes.

Au milieu du synclinal l'espacement égal entre les courbes 775, 750 et 725 indique un écoulement régulier de la nappe dans les grès, sans influence d'un niveau perméable en grand et régulateur de la pression hydrostatique d'amont en aval. Nous avons supposé l'existence d'un tel niveau dans la région de l'oued bou Haya et, nous le ferons encore, chaque fois que la pente de la nappe miocène nous paraîtra incompatible avec la perméabilité en petit des grès.

Cependant, sur les flancs du synclinal, et nous pensons au flanc SE où la courbe 750 est interpolée entre deux points d'eau distants de 18 km., la rareté des indices ne permet pas d'affirmer que l'écoulement de la nappe des grès soit régulier, et nous laisse au contraire supposer qu'un débit dans des calcaires ou dolomies est probable. Dans les discontinuités de l'écran aquitanien, la nappe miocène a, en effet, toute licence pour imbiber les terrains crétacés sous-jacents, et la présence sous le synclinal de Kasserine de nappes captives dans le Turonien et le Cénomanien est possible. La cote de la nappe campanienne est de 665 m., d'après les sondages 6679/4, 6282/4 et 6283/ 4, près d'Aïn Allouche 182/4. Le Campanien draine donc le Miocène en une zone où le niveau statique n'est que de 665 m. environ, c'est-à-dire tout près de la faille de Kasserine.

Les pendages du Miocène du synclinal de Kasserine, tous dirigés au S ou au SW avaient fait pressentir à J. ARCHAMBAULT [**123**] la faible profondeur du Crétacé au N de la faille. Et en effet les calcaires sénoniens ont été recoupés par les sondages 6283/4 et 6679/4 à 32 et 35 m. de profondeur. Le premier n'a fait qu'effleurer la couche, tandis que le second aurait touché les marnes du mur à 48,4 m. Ces 13,4 m. de calcaires ont donné un débit de 112 l.-s. pour 9,5 m. de dépression. Trois autres sondages, en 1932, les n°s 3233/4 et 3233/4 bis et en 1949 le n° 6740/4, ont encore été exécutés en amont de la faille de Kasserine, près d'Aïn el Kaïd (199/4). Bien que poussés jusqu'à 91, 111 et 113 m. aucun n'a touché le soubassement crétacé, ici plus profond car on est au milieu du synclinal.

La faille de Kasserine, ou plutôt la cascade de failles, fait buter les alternances de grès et de marnes du Miocène inférieur et les alternances de calcaires et de marnes du Sénonien du synclinal, contre le Quaternaire formé d'alternances de limons, marnes et argiles sableuses, sables et cailloutis, beaucoup moins perméables, du fossé d'effondrement de l'oued el Hateb. Une partie de l'eau du synclinal miocène alimente les nappes profondes contenues dans les passées perméables de ce complexe effondré, pontien ou quaternaire. Le trop-plein se trouve obligé de contourner l'obstacle et émerge le long de la falaise aux sources d'Aïn el Kaïd (199/4) et d'Aïn Allouche (182/4) et dans l'oued Derb (183/4), niveau de base de notre surface piézométrique. La discontinuité des courbes isopiézométriques atteste nettement la présence d'un seuil hydraulique à l'aplomb du seuil tectonique (voir p. 35).

Le sondage d'Aïn el Kaïd (6740/4) capte la nappe des grès miocènes, mais d'autres sondages pourraient encore être implantés dans cette zone suivant les besoins.

Il reste à reconnaître les nappes profondes du Crétacé, où des nappes artésiennes à fort débit nous paraissent susceptibles d'être rencontrées. Comme le niveau statique maximum de ces nappes est de 750 m., nous proposons un sondage de reconnaissance placé à la cote 710, par exemple 1 km. à l'W du Contrôle Civil.

FOSSE DE L'OUED EL HATEB

PLAINE QUATERNAIRE DE KASSERINE

Limité au Sud par la faille de Kasserine et au N par une faille reliant les djebels Semmama et Maargueba, ce véritable fossé de subsidence contient des nappes aquifères très intéressantes, alimentées principalement par la nappe du synclinal miocène de Kasserine, et par le trop-plein de la nappe de la Foussana, qui fournit un débit de 100 l.-s. environ.

Dix sondages exécutés dans cette unité géologique ont montré l'existence de nappes profondes beaucoup plus intéressantes que les nappes superficielles quant à la qualité et au débit (cf. p. 25).

A l'échelle de la structure aquifère, par exemple à l'échelle de la plaine effondrée de l'oued el Hateb, les nappes profondes sont en équilibre avec les nappes superficielles. Cependant, en cas de dissymétrie dans l'alimentation ou de drainage d'une des nappes, l'équilibre ne se rétablit qu'après un certain temps, fonction du nombre et des dimensions des lentilles imperméables séparant les deux groupes de nappes. Dans le détail, on remarque donc que les nappes profondes ont un niveau plus profond dans les zones où les nappes superficielles reçoivent une alimentation exceptionnelle (région au N de l'oued Derb où a été observée une différence de plus de 10 m. entre la nappe de 207-260 m. du sondage 5319/4 et celle de 64-78 m. du sondage 6357/4) et inversement on est en droit d'espérer des nappes profondes artésiennes dans les zones de drainage des nappes superficielles.

L'alimentation de ce bassin, c'est-à-dire la quantité d'eau infiltrée, évaluée sous toutes réserves à 1.000 l.-s., est énorme, comparée au débit visible au seul exutoire de surface, 12 km. au S de Sbeïtla, à l'endroit où l'oued el Hateb franchit la chaîne du dj. Sabel Dilou, où le débit n'est que de 150 l.-s. Le principal exutoire des nappes de la plaine effondrée de Kasserine est donc souterrain. Or, cet écoulement ne peut avoir lieu qu'en deux endroits, où aucun point d'eau ne vient le confirmer :

1. Vers le NE dans le synclinal de Garet el Atech, par infiltration dans les grès miocènes ou dans les calcaires crétacés. C'est là, croyons-nous, le principal exutoire des nappes de Kasserine. Les failles du dj. Maargueba s'amortissent avant d'atteindre le dj. Selloum ; l'effondrement beaucoup moins net de ce côté-là de la plaine que du côté S, à Kasserine, rendrait les intercommunications plus faciles.

2. Vers l'E par l'extrémité du fossé de l'oued el Hateb, où il n'est pas encore prouvé que des relations entre notre système et celui de Sidi bou Zid - Hadjeb el Aïoun soient impossibles par les grès de la base du Miocène.

SBEITLA

La région de Sbeïtla a fait l'objet, comme celle de Sbiba, d'une étude récente [**148**]. Nous nous bornerons à donner ici à la nappe de Sbeïtla sa place dans l'évolution de notre nappe miocène (pl. V).

Les sondages de Garet el Atech n'ont pas rencontré de nappes dans le Miocène, mais seulement dans l'Emschérien et le Turonien. Le Campanien n'a été reconnu que dans le sondage le plus au N (3433/4), au pied du dj. Semmama. Outre une alimentation probable à partir des nappes profondes de la plaine de Kasserine, ce sont donc les nappes de l'Emschérien et des niveaux sous-jacents qui bénéficient de l'alimentation directe de la région comprise entre les dj. Maargueba et Semmama. La cote du niveau statique de ces nappes est de 551 à 555 m.

Entre les dj. Mrhila et Semmama, on n'a que six ou sept points d'eau pour une superficie de 400 km² environ. La cote de la nappe rencontrée varie de 581 à 599 (elle est de 630 dans le condage 3433/4, mais il s'agit probablement d'une autre nappe), c'est-à-dire que, vu les distances entre les points, on peut la considérer comme horizontale. Or, une nappe horizontale implique une perméabilité beaucoup plus grande que celle qu'on admet généralement pour les grès miocènes du Centre tunisien sous leur épaisseur habituelle. En raisonnant comme nous l'avons fait à propos de la nappe quasi-horizontale des environs de Feriana (p. 69) on peut affirmer que sous les grès miocènes se trouve un niveau perméable en grand et communiquant largement avec la nappe miocène. Ce niveau ne peut être que le Campanien, à l'exclusion de l'Emschérien inférieur (Coniacien) dont la nappe est à la cote 550 environ. Plus au N encore, dans le Bled Gouna, entre les dj. Mrhila et Tiouacha sur les flancs desquels les marnes du Lutétien supérieur ont été reconnues, existe une troisième nappe qui s'écoule au N avec une pente normale pour des grès miocènes pour apparaître à l'Aïn Temed (5501/4).

En résumé, on distingue dans la grande plaine synclinale en amont de Sbeïtla, trois nappes superposées :

1. La nappe d'Aïn Temed contenue dans les grès miocènes et dont le mur est constitué par les marnes éocènes du Bled Gouna.

2. La nappe campano-miocène, avec les grès comme réservoir, les calcaires campaniens comme drain, les marnes emschériennes comme mur, et un niveau statique voisin de 590 m.

3. La nappe de Sbeïtla, contenue dans les calcaires emschériens et turoniens, et dans les dolomies du Cénomanien, dont le mur est inconnu et dont le niveau statique est de 550 m. environ.

La première nappe s'écoule par le synclinal d'Aïn Temed entre le dj. Mrhila et un petit anticlinal éocène dans le prolongement du dj. Semmama, et peut-être aussi dans la seconde nappe par dessus la limite S

(limite de transgression ou peut-être d'érosion) des marnes éocènes. L'écoulement de la seconde nappe n'est possible que par l'ensellement de Sbeïtla, où elle apparaît aux sources de tête des oueds principaux, toujours à une cote voisine de 590, pour s'enfoncer ensuite graduellement vers le SE. Mais ce n'est pas là le seul exutoire de cette nappe campano-miocène. L'exutoire de la troisième nappe est la source de Sbeïtla, captée pour l'alimentation de Sfax où elle est transportée par une conduite de 160 km. de longueur. L'eau sort de fissures dans les marnes santoniennes à la cote 545 et provient du Coniacien. La différence de cote de 5 m. environ avec les nappes des sondages de Garet el Atech s'explique par l'importance du débit (170 l.-s.) qui implique une certaine dépression. La même cote est encore celle de la nappe artésienne du sondage 6750/4, foré en 1949 deux kilomètres au S de Sbeïtla. L'importance et la régularité de ce débit sont tous deux incompatibles avec la seule alimentation directe des calcaires emschériens et du Bled Garet el Atech. L'analyse chimique (voir fig. 21, p. 88) montre de plus qu'il ne s'agit pas d'une eau de calcaires, mais d'une eau identique à celle des grès miocènes de Feriana ou Kasserine. Cette origine miocène a été supposée d'abord par H. SCHŒLLER [**168**], puis reprise par J. ARCHAMBAULT [**124**] et par nous-mêmes [**148**].

La nappe des sources de Sbeïtla reçoit donc une alimentation indirecte qui peut évidemment venir de la plaine effondrée de Kasserine, mais qui provient plus vraisemblablement de la nappe campano-miocène, dont ce serait le second et principal exutoire. Il suffit pour que le déversement de cette nappe dans l'autre puisse avoir lieu, qu'on ait en contact d'une part le Campanien ou le Miocène et d'autre part les calcaires ou dolomies des étages anté-campaniens. Or, on sait, par les sondages de Garet el Atech et de Sbeïtla [**148**], que le Sénonien a été en partie enlevé par l'érosion anté-miocène dans des zones sous la plaine entre les djebels Semmama et Mrhila et sur l'ensellement de Sbeïtla. C'est dans ces zones, ou à travers une faille hypothétique qui mettrait en contact nos deux groupes de terrains, que l'écoulement de la nappe campano-miocène dans les niveaux perméables en grand, sous-jacents, peut s'effectuer. De toute manière, les points d'eau sont trop rares pour que des entonnoirs puissent être décelés dans la surface piézométrique.

L'accident qui calfate les nappes crétacées pour les empêcher de s'écouler vers Hadjeb el Aïoun, Djilma et Sidi bou Zid, par-dessus l'ensellement de Sbeïtla est une faille longitudinale, au contraire des accidents de Kasserine, Sbiba, Hadjeb, etc., qui sont transversaux. Elle fait buter les alternances de grès, marnes, marno-calcaires, calcaires et dolomies du Miocène et du Crétacé contre une assise de terrains électriquement très résistants, probablement des grès. Un sondage (4274/4), foré dans ce compartiment jusqu'à 126,3 m. n'avait en effet traversé que des grès avec de très petits bancs marneux intercalés. Le barrage souterrain serait constitué par la brèche de faille elle-même, et non par les grès du compartiment aval, qui sont perméables puisque la nappe de Sbeïtla s'y enfonce brusquement à plus

de 120 m. de profondeur. La campagne de 6 sondages (voir pl. V) exécutée sur le seuil de Sbeïtla en 1950-51 a reconnu la plupart des nappes contenues dans les différents niveaux perméables du Miocène (grès ou sables) et du Crétacé (calcaires et dolomies). Les nappes les plus profondes présentent le même niveau statique que les sources de Sbeïtla (546 m.) et ce niveau baisse graduellement à mesure que la nappe envisagée se rapproche de la nappe phréatique.

Le seuil de Sbeïtla n'est pas un simple abaissement axiale de l'anticlinal du Mrhila, mais présente plusieurs ondulations qui déterminent des zones plus ou moins favorables pour le captage par sondages des nappes artésiennes profondes. Les deux sondages jumelés 6750/4 et 6860/4, en effet, pourtant les plus éloignés des affleurements crétacés, ont rencontrés ces terrains, à 180 m. seulement.

Toutes les pertes de la nappe de Sbeïtla, que ce soient les pertes par défaut d'étanchéité de la faille, les colatures des irrigations ou le trop-plein des captages actuels, descendent rapidement au niveau de la nappe immense allant d'Hadjeb el Aïoun, cote 350, à Sidi bou Zid, dont la cote de base est de 310 m.

HADJEL EL AIOUN

La zone d'émergences d'Hadjeb el Aïoun est actuellement l'une des mieux étudiées de la Tunisie centrale, grâce aux travaux de H. SCHŒLLER, de J. DECROCQ, et aux deux campagnes de prospection électrique effectuées par la Compagnie Générale de Géophysique en 1947 et 1948. Exactement comme à Kasserine, une faille jalonnée de sources met en contact des formations de perméabilités différentes appartenant ici au Miocène supérieur. La principale différence vis-à-vis du système de Kasserine est la présence au milieu du synclinal d'un faciès marneux relativement continu (Vindobonien supérieur ?) séparant les nappes superficielles et profondes. Ces nappes profondes ne sont décelées que par certaines anomalies des courbes isopiézométriques relativement à des courbes idéales figurant un écoulement régulier des nappes superficielles. On verra que s'il est possible de délimiter des lignes de partage des eaux pour ces nappes-ci, on est obligé de considérer dans son ensemble le système des nappes profondes Hadjeb el Aïoun-Djilma-Sidi bou Zid.

La principale alimentation des nappes profondes se fait par infiltration des eaux météoriques en bordure du synclinal, où les faciès gréseux prédominent. En outre, les pertes de la nappe de Sbeïtla s'enfoncent très rapidement sous une nappe perchée déterminée par notre Miocène supérieur marneux, et alimentent ainsi le système profond. Entre le dj. Mrhila et la courbe isopiézométrique 370 la pente de la nappe superficielle est à peu près continue (1%), mais en-dessous de cette cote la nappe est ho-

rizontale sur une grande surface. En appliquant les mêmes principes qu'à propos des émergences de Feriana, Kasserine et Sbeïtla, il faut admettre un faciès beaucoup plus perméable, permettant l'intercommunication des nappes superficielles et profondes, et une grande perméabilité pour ces nappes profondes. Dans notre cas on doit avoir dans toute la région comprise dans la boucle de la courbe 350 une remontée de la nappe profonde grâce à l'absence de l'écran marneux dont l'extension se limiterait à la partie centrale du synclinal. Si la courbe fermée 360 montre où cette intercommunication est le plus facile, c'est la courbe 350 qui en décèle la grande extension d'Hadjeb à Djilma.

Les nappes superficielles ainsi suralimentées sont drainées par trois zones où le niveau du sol est inférieur à la cote 350 :

1. L'oued Abd el Kader, qui passe à 4 km. à l'W d'Hadjeb et qui coule sur ces marnes miocènes qui rendent captives les nappes profondes descendant des dj. Mrhila et Labeïed au N.

2. La falaise même d'Hadjeb, où ces nappes donnent lieu à de nombreuses sources que leur température de 12° a fait classe comme *sources froides* [**145**].

3. L'oued Neggada, en provenance de Sidi bou Zid.

Une autre catégorie de sources, chaudes celle-ci (25°) affleurent le long de la falaise d'Hadjeb el Aïoun : ce sont des eaux qui remontent directement des nappes profondes en profitant de la faille.

D'après l'étude géophysique et les résultats des sondages mécaniques, on a au S de la faille des alternances de couches perméables et imperméables, et suivant les pendages ou la topographie, c'est tantôt l'un, tantôt l'autre de ces niveaux qui affleure.

Un fait important, et qui n'avait pas été remarqué jusqu'ici, est que la même série ou du moins une série analogue se retrouverait de l'autre côté de la faille, mais décalée. Le rejet vertical obtenu en comparant les coupes des sondages 6672/4 (lèvre affaissée, au N) et 5359/4 (lèvre S), est de près de 100 mètres, si l'on suppose les couches horizontales entre ces deux points, ce qui n'est probablement pas loin de la vérité.

Il semblerait donc que les nappes crétacées du dj. Zaouia, bien que ne débitant que peu ou pas actuellement, sont en équilibre avec la nappe profonde d'Hadjeb el Aïoun.

DJILMA

La nappe d'Hadjeb possède une autre zone d'émergence : Djilma, 20 km. au SW d'Hadjeb el Aïoun. Les sondages ont tous rencontrés des alternances de sables, de marnes et d'argiles où aucun niveau repère n'a été trouvé. Aucune corrélation n'est donc possible entre les sondages et on

en est réduit à de simples suppositions quant à la tectonique de Djilma. La prolongation SW du dj. Zaouia constituerait un barrage souterrain au-dessus duquel les nappes du Miocène inférieur et moyen, à moins grande profondeur, parviendraient plus aisément à la surface. A l'action de ce barrage souterrain s'ajoutant l'action du drain topographique naturel, il en résulterait les sources de l'oued Djilma et les nappes ascendantes des puits et sondages.

Les courbes isopiézométriques, dont l'équidistance est ici de 5 m., montrent un gradient maximum de l'ordre de 1%. C'est la pente normale d'une nappe contenue dans un terrain perméable en petit, d'une épaisseur et d'une perméabilité analogues à ceux des grès miocènes de Kasserine par exemple, et coulant sur un mur imperméable, ici le Crétacé de la prolongation de dj. Zaouia.

Comparés à ceux d'Hadjeb, les sondages de la région de Djilma montrent des faciès plus marneux. La présence d'argiles brunâtres ou rosâtres à poupées calcaires dans les sondages les plus au S (5597/4 et 5407/5) est l'indice de l'existence d'un Pontien épais semblable à celui qui affleure par endroits, par exemple dans le synclinal des Ouled Moussa au SE du dj. Selloum.

SIDI BOU ZID

A Hadjeb el Aïoun, le toit de la nappe miocène profonde était constitué par le Vindobonien supérieur (marnes à *Ostrea crassissima* LAMARCK). Au S de Djilma, le toit de notre nappe appartiendrait à un Pontien ou à un Quaternaire très épais et serait formé d'alternances lenticulaires de limons, marnes, sables, argiles, cailloutis, le tout à demi-imperméable.

Pour la nappe, entre Djilma et la route de Sbeïtla à Sfax, comme pour la nappe de Sidi bou Zid *sensu stricto*, la pente moyenne est de 0,25% seulement, alors qu'on s'attendrait, avec des terrains moins perméables que ceux du Miocène inférieur par exemple et pour un même débit total de la nappe, à une pente beaucoup plus forte. C'est donc ici l'épaisseur de la nappe qui a augmenté non seulement de manière à compenser le fait d'une perméabilité moindre, mais encore à diminuer la pente de la nappe. Cette hypothèse est d'ailleurs corroborée par la présence des terrains quaternaires ou pontiens reconnus jusqu'à 702 m. dans le sondage 5588/5. Notons que dans ce complexe pontien existent des couches de graviers et cailloutis où des débits importants d'eau de bonne qualité sont exploités.

Dans le détail, les courbes isopiézométriques ne montrent pas un écoulement uniforme sur tout le front de la nappe. On voit, au contraire, des zones d'apports soit d'eaux profondes, soit d'eaux de ruissellement, telles que la zone de l'oued Djilma ou celle de l'oued Fekka, et

des zones de drainage trahissant les exutoires de la nappe, comme l'oued Neggada et la région d'Aïn Rebaou. La forte anomalie que les courbes isopiézométriques subissent au SW de Sidi bou Zid dénote la zone d'apports des oueds Fekka et Sarg ed Diba, combinée au drainage intensif qui semble se manifester le long du dj. Kebar. Ce drainage se produit probablement sous nos marnes et limons brun-rouge pontiens dans des terrains très perméables, à rattacher soit au Pontien par analogie avec le Sud tunisien, soit au Miocène inférieur ou moyen par analogie avec le Centre. Cette auréole perméable autour du dj. Kebar en drainerait aussi les nappes cénomaniennes.

CHAPITRE III

LES EXUTOIRES

Nous avons vu la nappe miocène descendre des hauts plateaux au N de Feriana vers Kasserine, de là passer dans le substratum de la plaine de l'oued el Hateb ; nous avons envisagé la possibilité d'un écoulement, de cette plaine dans le synclinal de Garet el Atech, où la nappe est en équilibre avec les sources de Sbeïtla ; nous avons suivi ensuite l'évolution de la nappe en aval de Sbeïtla jusqu'à Hadjeb el Aïoun, Djilma et Sidi bou Zid ; il nous reste à voir maintenant quels sont les exutoires de cette nappe immense et à partir d'où elle perd son individualité.

REGION NORD

Les nappes de la région de Sbiba se déversent dans l'oued el Hatob de Sbiba, qui s'appellera en aval oued Zeroud. Le débit pérenne varie de zéro à plus de deux cent cinquante litres-secondes suivant que le lit est perméable ou qu'il franchit un barrage souterrain. La qualité de l'eau est très variable avec 1,2 g/l de résidu sec à la hauteur de Sbiba et 2 à 4 g/l à l'aval du massif triasique de Koudiat el Halfa au N du dj. Mrhila. Le long du dj. Labeïed, l'eau disparaît presque complètement pour réapparaître (150 l.-s. d'eau à 2,5 g/l de résidu sec) au passage de la prolongation E du dj. Labeïed. A ce point, le cours d'eau est à la cote 350 environ et est susceptible d'alimenter certaines nappes d'Hadjeb par ses infiltrations en contournant l'extrémité de la faille.

Puis, le débit reste stationnaire jusqu'à la hauteur de l'Aïn Sidi Ahmed Dib (3297/4) et de Koudiat Sidi Nasseur, ligne de colline correspondant peut-être à une structure profonde, après quoi il diminue de nouveau presque jusqu'à zéro en face d'Hadjeb el Aïoun. Le résidu sec est ici de 3 g/l.

L'oued se remet à couler peu avant de traverser la faille d'Aïn Hammam Sahline.

La cuvette miocène d'El Ala-Pichon, au N du dj. Labeïed et à l'W du dj. Trozza, n'a été prospectée qu'en partie au point de vue hydraulique. On sait, cependant, que l'oued Zeroud n'est pas susceptible d'alimenter des nappes s'écoulant vers le N pendant son parcours au N du dj. Labeïed. Au contraire, le supplément de débit visible sur la courbe

des débits de l'oued Zeroud nous indique une action de drainage sur la nappe d'El Ala.

On sait encore qu'aucune infiltration n'est possible au NE de son cours en face d'Hadjeb, à cause des marnes éocènes qui forment dans cette région le soubassement des grès à une cote supérieure à celle de la nappe.

REGION EST

Si l'oued Zeroud est le seul exutoire de la bordure N de notre nappe miocène, c'est aussi le principal exutoire de la région E, où aboutissent les nappes de Djilma et de Sidi bou Zid. Notons, ici, que les eaux des petites crues ou des trop-pleins des systèmes de la Foussana et de Kasserine, évacuées par l'oued el Hateb, s'infiltrent totalement dans sa partie aval appelée oued Fekka (qui se poursuit par l'oued Neggada, puis par l'oued Hadjel, affluent de l'oued Zeroud) et profitent ainsi entièrement au système hydraulique de Sidi bou Zid.

Trois exutoires sont possibles aux eaux de cette région E :

1. au S de Djilma, dans toute la région où la cote du terrain est inférieure à 350 m., les nappes profondes affleurent, ou tout au moins parviennent dans la zone d'évaporation. Cette remontée des eaux profondes pour s'évaporer dans les bas-fonds est attestée par la grande extension des terrains salés à Halophytes, impropres actuellement à toute culture.

Le débit évaporé dans la zone de l'oued Neggada, comprise entre Sidi bou Zid et le confluent de l'oued Djilma (à partir duquel l'oued Neggada s'appelle oued Hadjel) a été estimé à 300 l.-s. par H. SCHŒLLER, en comparant les concentrations des nappes considérées d'une part dans leur gisement et d'autre part à leur affleurement dans l'oued Neggada. Bien que la concentration d'une eau profonde depende de facteurs autres que l'évaporation, ce chiffre ne nous paraît pas exagéré du tout. Pour l'ensemble de la région de Sidi bou Zid, c'est-à-dire les sebkras de l'oued Neggada, de Lessouda et du Faïd, nous admettons une évaporation annuelle moyenne de un mètre cube par seconde.

Le débit de l'oued Hadjel, à son débouché dans l'oued Zeroud, est de 50 l.-s. A son passage à travers la chaîne des dj. Nara et Touila, l'oued Zeroud évacue un débit moyen de 850 l.-s. d'une eau à 4 g/l. de résidu sec (d'après les mesures effectuées par le Bureau de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques de Tunisie journalièrement de septembre 1949 à août 1950) [1]. L'apport des crues correspondrait à 600 l.-s. et celui de

1. — Année exceptionnellement sèche.

la nappe miocène à 250 l.-s. et ceci pour un bassin de près de 10.000 kilomètres carrés.

Les chutes d'eau annuelles de l'ordre de 300^{mm} correspondraient à un débit de 10 l.-s. par km^2, soit 100 m^3 pour les 10.000 km^2 Le coefficient de ruissellement est donc de 0,6%, le trop-plein des nappes de 0,25% et l'évaporation de 99,15%. Il va sans dire que ces coefficients, basés sur les mesures d'une année seulement, ne peuvent donner qu'un ordre de grandeur.

L'évaporation se fait à différents stades du cycle de l'eau :

a) évaporation directe de l'eau de pluie ruisselante ;
b) évaporation par les plantes de l'eau pouvant imprégner le sol ;
c) évaporation directe des nappes ;
d) évaporation par les cultures irriguées.

Le point *a* est le plus difficile à chiffrer mais certainement le plus important. Le point *b* pourrait être déduit dans une certaine mesure de l'inventaire des cultures sèches et pâturages en tenant compte approximativement du fait que la formation d'un kilogramme de matière végétale sèche (tiges et feuilles) exige le passage de 300 litres d'eau [1]. Quant à *c* nous venons d'évaluer à 1.000 l.-s. le débit évaporé à Sidi bou Zid. Pour les autres zones d'évaporation, nous admettrons un débit de 200 l.-s. par comparaison avec la sebkra de Sidi bou Zid. Ailleurs que dans les sables, où les nappes affleurent, l'évaporation est plus lente et se traduit par la formation de croûtes dont l'étude donnerait peut-être une idée de l'ampleur de l'évaporation. Le point *d* est le plus facile à chiffrer. On connait en effet les débits utilisés pour l'irrigation, de 1 m^3/s. environ en comptant Kasserine, Sbeïtla, Hadjeb, Djilma et Sidi bou Zid. Ce débit est totalement infiltré dans les zones d'utilisation et la moitié environ, soit 500 l.-s., est probablement évaporée par les cultures. Notre bilan hydraulique se résume donc ainsi :

Nappes profondes	débit utilisable : 1 m^3/s.; débit utilisé..	0,5 m^3/s.	
	évaporation dans les sebkras..........	1,2 m^3/s.	
	trop-plein en aval d'Hadjeb el Aïoun..	0,25 m^3/s.	
Coefficient d'infiltration aux nappes profondes........		1,95 m^3/s.	
		ou	1,95 %
Coefficient de ruissellement pour l'année considérée			0,6 %
Part connue de notre bilan hydraulique			2,55 %
Inconnues	Evaporation directe de la pluie Evaporation par des cultures sèches Evaporation avec formation de croûtes	....	97,45 %
Total des précipitations.....		100 %	

1. — D'après E. A. Deshusses : Terres et fumures des jardins. Ed. *Baconnière*. Neuchatel (Suisse).

Les travaux d'assolement (*dry farming*) et de terrassement (construction de barrages ou de levées de terre) parviennent à supprimer le ruissellement et à augmenter considérablement l'infiltration aux dépens du point *a*. Le captage des nappes et leur exploitation *intensive* tendra, par l'abaissement du plan d'eau, à diminuer l'évaporation directe *c*.

2. Le goulet d'Aïn Rebaou, à 8 km. au S du col du Faïd par où passe la route de Sfax Sbeïtla, ressemble étrangement par sa situation tectonique au goulet de Sbeïtla, Il est susceptible d'évacuer une partie des nappes profondes de Sidi bou Zid. L'Aïn Rebaou (3140/5) donne 10 l.-s. d'une eau chargée faisant 6 à 7 g/l. de résidu sec. Cette salure est probablement due au contact des gypses éocènes qui affleurent immédiatement à l'amont de la source.

3. La cote 315 de la nappe du Bir Seugdal, 5 km. au S de l'ensellement entre les dj. Kebar et Ksaira n'est pas incompatible avec une alimentation venant du N, c'est-à-dire de la nappe de Sidi bou Zid.

REGION SUD

Deux systèmes hydrauliques importants sont susceptibles de recevoir des appoints de notre nappe miocène vers le Sud.

BLED SEUGDAL

Entre les dj. Kebar et Meloussi s'étend une vaste pleine de près de 1.000 km² dont la partie E s'appelle *Bled Seugdal*. Outre une alimentation directe importante, le système hydraulique de cette plaine peut recevoir, nous venons de le voir, un appoint de la partie aval de la nappe de Sidi bou Zid. Un appoint de la partie amont de la même nappe est encore plus probable autour de la terminaison périclinale SW du dj. Kebar.

Si la nappe de Sidi bou Zid est bien drainée, comme nous le supposons ci-dessous, par une ceinture drainante autour du dj. Kebar, c'est probablement la nappe du Bled Seugdal qui en profite. Dans la région de Sidi Ali ben Aoun, en l'absence de tout point d'eau, nous pensons que la ligne de partage des eaux profondes avec la nappe de Gafsa, se trouve à l'aplomb de la grande faille - flexure de Sidi Ali ben Aoun, coïncident ainsi avec la limite topographique des deux bassins.

Les courbes isopiézométriques que nous avons tracées dans le Bled Seugdal montrent que tout l'écoulement des nappes se fait vers l'E du dj. Meloussi, dans le goulet qui mène à Maknassy. La nappe est très profonde à l'amont de la plaine — le puits 1628/5, à Ksar bou Seba, est profond de 82 m. — et, grâce à la topographie qui présente une pente plus forte que celle de la nappe, elle affleure dans notre goulet, appelé pour cette raison *Bled Rmelia*, c'est-à-dire « bon terrain ».

L'étude hydrogéologique de J. Pimienta, à qui nous devons le tracé des courbes isopiézométriques de la région de Maknassy, a montré que les nappes y forment un système indépendant, et que son alimentation par le goulet du Bled Rmelia était son seul contact avec la nappe miocène du Centre tunisien.

SYSTEME DE GAFSA

L'impluvium de la nappe de Gafsa est aussi grand que celui de l'ensemble de la nappe miocène qui fait l'objet de cette étude. On conçoit l'importance du seuil hydraulique de Gafsa, seul endroit où cette nappe gigantesque est artésienne. Une étude de G. Castany [**140**, et p. 39] montre le détail des mécanismes d'émergence, sur lesquels nous ne reviendrons donc pas.

Les possibilités d'intercommunication entre la nappe de Gafsa et notre nappe miocène sont peu nombreuses. Il s'agit habituellement de simples limites de bassin versant : cols topographiques de Sened, de Sidi Ali ben Aoun, du milieu du synclinal des Ouled Moussa. Cependant, autour des anticlinaux, les levers géologiques ont reconnus des terrains miocènes perméables transgressifs sur le Crétacé. Ces terrains, qui drainent probablement d'autres nappes miocènes, permettent aux nappes crétacées de s'écouler l'une dans l'autre.

Une intercommunication entre les deux grands systèmes hydrauliques du Centre tunisien, n'est possible que par l'intermédiaire de ce Miocène, ou par un cheminement problématique à travers des niveaux crétacés profonds. A Feriana, par exemple, on peut avoir en même temps l'écoulement par les grès miocènes du synclinal de Feriana et par les calcaires campaniens.

Au S du dj. Sidi Aïch, quelques points d'eau nous ont permis de tracer des courbes isopiézométriques sur la planche IV. La nappe ainsi définie montre un gradient de 0,25 à 0,4 % entre les courbes 350 à 390. La nappe touchée dans le dernier sondage (7010/4) de Madjen bel Abbès dont le niveau statique est à près de 200 m. de profondeur se raccorde à cette nappe avec la même pente. Le seul autre point d'eau entre Madjen et les courbes touche une nappe à un nivau légèrement supérieur (n° 5991/4). Le grand espacement des courbes 350 et 340 montre une nappe pratiquement horizontale sur près de 500 km².

Chaque fois que cela s'est produit lors de notre analyse de la nappe miocène, nous en avons conclu à la présence d'un niveau très perméable sous ou parmi les couches habituellement perméables en petit du Miocène ou du Pontien. Il s'agit probablement ici du Crétacé sous-jacent perméable en grand. C'est donc dans cette zone que la nappe miocène, à la cote 350, se déverserait dans les terrains crétacés pour reparaître aux émergences de Gafsa, à la cote 300. Il se pourrait donc que des niveaux crétacés profonds contiennent, sous le seuil de Gafsa, des nappes dont le niveau statique serait de 350 à 340 m. Ce point vaudrait la peine d'être élucidé par un sondage profond.

CHAPITRE IV

ETUDE CHIMIQUE

Nous ne nous occuperons pas ici, ce qui nous mènerait beaucoup trop loin, de faire la comparaison détaillée des analyses de toutes les eaux miocènes de Tunisie centrale, mais seulement de tirer quelques idées générales de la comparaison de quelques-unes d'entre elles qui nous paraissent spécialement représentatives (fig. 21, p. 88).

Les émergences principales de la Tunisie centrale ont des résidus secs de plus en plus grands d'amont en aval :

Feriana - Ras el Aïne (4840/4)	508	mg/l	d'apr.	2	anal.
Kasserine - O. Derb (183/4)	850	»	»	7	»
Kasserine - Sondage profond (5319/4)	950	»	»	6	»
Aïoun Sbeïtla (72/4)	1234	»	»	30	»
Djilma - Sondage (5407/5)	1210	»	»	1	»
Hadjeb - Sondages variés	1055	»	»	13	»
Sidi Bou Zid - Sondages profonds	2500	»	»	8	»
Oued Zeroud (6678/4)	4000	à l'étiage.			

Les systèmes hydrauliques de Feriana, Kasserine, Sbeïtla, etc..., sont comparables aux points de vue dimensions, débits, terrains traversés par les nappes, etc... On s'attendrait donc, si ces nappes étaient indépendantes et ne bénéficiaient que de l'alimentation directe, à des salures du même ordre se rapprochant de 0,5 g/l. de résidu sec, comme à Feriana et Sbiba par exemple. On observe au contraire une augmentation graduelle de salure qui est une preuve de l'interdépendance des systèmes hydrauliques du Centre tunisien et de l'unité de la nappe miocène. Des résidus secs inférieurs à 0,5 g/l. sont très rares dans la région et ne se rencontrent que dans des eaux de citernes ou de petites nappes qui ne survivent pas longtemps après les périodes pluvieuses. Nous venons de voir qu'un résidu sec de 0,5 g/l. caractérisait dans la région une nappe miocène de quelque importance ne bénéficiant que de son alimentation directe. Un résidu sec supérieur à 0,5 g/l. décélerait une nappe provenant du mélange du trop-plein d'un autre système hydraulique et d'une nappe formée par une alimentation directe normale. Le rapport des débits de ces deux alimentations serait donné par la formule :

$$\frac{Q^1}{Q^2} = \frac{C^2 - C^0}{C^0 - C^1}$$

dans laquelle Q^1 et Q^2 sont les deux débits, C^1 et C^2 les résidus secs corresondants et C^0 le résidu sec de la nappe résultante.

Cette augmentation de salure que nous constatons en parcourant nos principales émergences, ne représente qu'une première approximation. Dans le détail, on observe parfois au contraire, et c'est particulièrement net pour les systèmes de Feriana et de Kasserine où les têtes de nappes (lignes de partage des aux) sont connues, une diminution de salure en allant de la tête de la nappe à l'émergence.

La Fontaine d'Oum Ali (5402/4), au sommet de la nappe de Feriana, a un résidu sec de 640 mg/l., tandis qu'à Ras el Aïne (4840/4), émergence principale de la nappe, il n'est plus que de 510 mg/l.

A l'Oglet el Garaa (6186/4), on se trouve à l'endroit où le trop-plein de Feriana commence à se déverser vers Kasserine ; l'écoulement très lent et le faible débit impliquent une durée de contact prolongée et une évaporation importante. On comprend donc bien pourquoi le résidu sec atteint 1.500 mg/l environ.

En passant par la source de tête de l'oued Derb (6090/4) — résidu sec

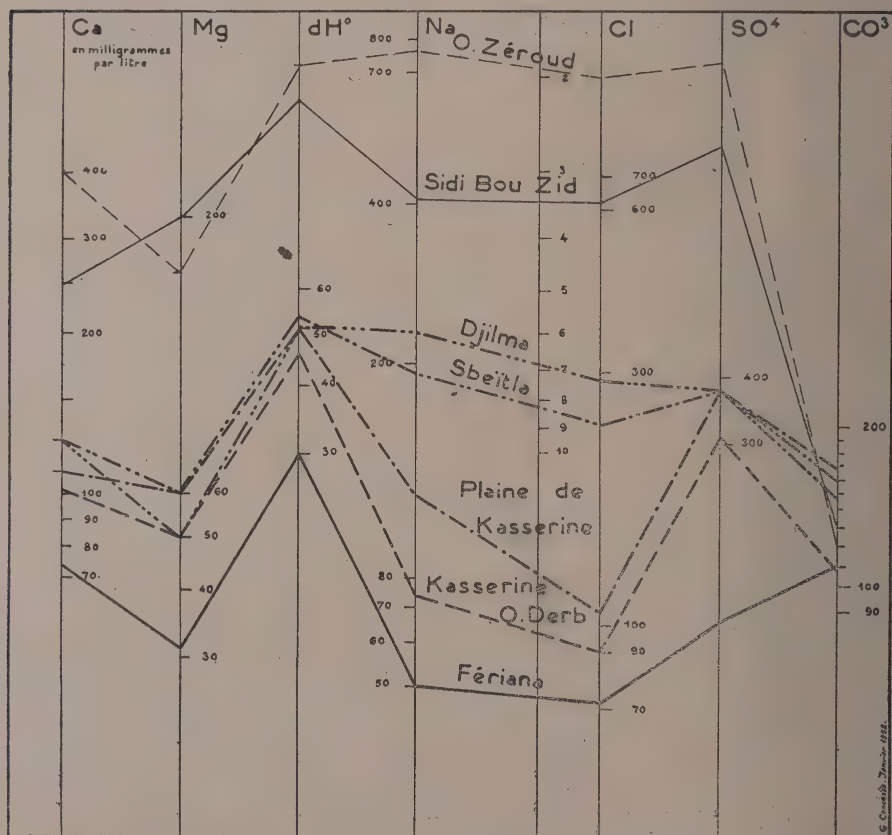


Fig. 21. — DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE MIOCÈNE DE LA TUNISIE CENTRALE.

de 1.396 mg/l. — et par les sources du cours de l'oued (6089/4 et 183/4), où le résidu sec est de 972 puis 850mg/l., on arrive à l'Aïn Allouche (182/4) où le résidu sec n'est plus que de 800 mg/l. (moyenne de 12 analyses).

Habituellement, on ne connaît, en tête d'un système hydraulique, que les nappes superficielles soumises à l'évaporation et dépendant de conditions particulières de gisement. A mesure qu'on descend vers les émergences, on se rapproche de la nappe profonde moins chargée.

A Feriana et Kasserine, on observe, en effet, ce fait paradoxal que la nappe profonde est alimentée à travers des nappes superficielles plus chargées. Cela provient du mode d'alimentation des nappes profondes, auxquelles ne profitent que les infiltrations massives d'eau de crues ou de grosses pluies dans des zones nettement délimitées, par exemple en bordure des synclinaux, où affleurent les termes inférieurs du Miocène très perméables, et où les cailloutis et alluvions grossières des cônes de déjection sont abondants.

Les sondages de Garet el Atech montrent des eaux d'origines et de gisements très variés avec des résidus secs allant de 0,6 à plus de 5 g/l.

A Hadjeb el Aïoun, la plupart des sondages ont donné des eaux à 0,5 - 0,6 g/l. de résidu sec. La salure monte cependant pour certaines nappes jusqu'à 2,3 g/l., peut-être à cause d'une alimentation lointaine — reprise des eaux de Sbeïtla — ou peut-être à cause d'un écoulement nul augmentant la durée du contact eau - roche. Dans ce dernier cas, l'exploitation tendrait à dessaler ces nappes.

La nappe de Djilma, considérée dans ses deux principaux exutoires actuels, les sondages 5407/5 et 7024/4, accuse un résidu sec de 1,2 g/l. Si cette nappe était formée uniquement du trop-plein de Sbeïtla on s'attendrait, vu les distances que l'eau aurait à parcourir, à une salure de l'ordre de 2 g/l. On voit donc que l'appoint des nappes autochtones, à 0,5 g/l. de résidu sec, est ici prépondérant.

Quant aux nappes profondes de Sidi bou Zid leur salure élevée, de 2,5 g/l. habituellement, peut être due à l'évaporation intense à travers le Pontien et le Quaternaire semi-imperméables, et à l'alimentation par les eaux chargées de l'oued el Hateb de Kasserine (oued Fekka), dont même les crues s'infiltrent totalement avant d'arriver à Sidi bou Zid.

Nous avons vu que l'oued Zeroud, exutoire des nappes de Sbiba et d'Hadjeb el Aïoun, donnait 4 g/l. de résidu sec. L'oued Neggada - Hadjel, qui draine la nappe de Djilma et les sebkras de Sidi bou Zid, est beaucoup plus salé : de 8 g/l. en moyenne à l'aval on observe une augmentation graduelle de la salure vers l'amont, c'est-à-dire vers des zones d'évaporation plus intense, jusqu'à plus de 42 g/l. On a alors l'analyse suivante :

	résidu sec	Ca	Mg	Na	Cl	SO^4	CO^3
o. Neggada (amont)	42.630	735	1568	12.348	16.000	11.729	180
Eau de mer : (*à titre de comparaison*).	38.886	770	1469	11.960	21.300	3.181	102

L'Aïn Rebaou (3140/5), 16 km. à l'E de Sidi bou Zid, avec ses 6 à 7 g/l. de résidu sec, est un autre exutoire de la nappe de Sidi bou Zid, mais nous avons vu que sa forte salure provenait probablement d'un contact avec des gypses éocènes.

QUATRIEME PARTIE

LES BASSINS ARTÉSIENS DU SUD TUNISIEN

par CH. DOMERGUE

CHAPITRE PREMIER

LE DJERID

Le Djerid est la région naturelle qui s'étend entre les chotts Djerid et Rharsa. Elle comprend les oasis de Nefta - Tozeur - El Hamma - El Oudiane. Il s'agit d'une région aride où les précipitations pluviométriques sont de l'ordre de 100 mm de moyenne par an. Certaines années sont pratiquement exemptes de pluies. Le climat, froid l'hiver, brûlant l'été, est nettement saharien. Malgré ces conditions apparemment défavorables, le Djerid a toujours compté parmi l'une des régions les plus riches de la Tunisie grâce à ses abondantes émergences d'eaux souterraines qui en font le pays d'élection de la datte Degla.

Les oasis ont existé depuis la plus haute antiquité autour des sources naturelles, puis se sont étendues à la suite des travaux de captages par tranchées ou *foggara*. Leur développement a redoublé aujourd'hui, à la suite du forage de puits artésiens.

LES TERRAINS

Le Djerid doit sa formation à des sédiments d'âge quaternaire, pliocène, miocène (Pontien) et crétacé (pl. VI).

QUATERNAIRE. — *Sables éoliens.* — Ils recouvrent une grande partie du Djerid mais ne forment des dunes qu'exceptionnellement, à l'embouchure de l'oued Bayech vers le chott Rharsa et sur la piste d'El Oued.

Travertins. — Ce sont des argiles sableuses concrétionnées avec *Melanopsis* et *Melania*. Fréquents autour des sources actueles, il occupent également l'emplacement d'anciennes émergences.

Croûte gypseuse. — Elle est la conséquence de l'évaporation superficielle de la nappe.

Sols des sebkras. — Ils constituent le remplissage des chotts Djerid et Rharsa. Ils sont constitués par des alluvions et éluvions argilo-sableuses imprégnées de sels (gypse et chlorure de sodium, potassium ou magnésium).

Couches à Cardium : sables grossiers et galets riches en débris de *Cardium edule*.

Pliocène. — Ce sont des marnes grises et blanches gypseuses avec intercalations de bancs de gypses de 0,50 à 2 mètres. Puissance : 100 à 200 m.

Miocène. — Ces terrains sont d'âge pontien datés par des Vertébrés. Le Pontien comprend deux complexes ; au sommet, des argiles rouges, puissantes de 250 à 600 mètres et, à la base, une série sableuse. Celle-ci est fréquemment dédoublée par des intercalations de marnes et argiles rouges ou bleues. Les sables de l'horizon supérieur sont fins, souvent fluents tandis que le niveau de base est plus grossier. L'ensemble de la série sableuse atteint une puissance de 150 à 250 mètres.

Sénonien supérieur. — Les sables de base du Pontien reposent sur les calcaires du Sénonien supérieur (Maestrichtien-Campanien). Toutefois, les forages récents de Rherdgaïa (1 bis) et de Chakmou ont montré la présence sous les sables pontiens d'un niveau éocène à phosphates. Le calcaire sénonien est perméable par fissures.

Sénonien inférieur. — Le Sénonien inférieur essentiellement marneux forme le mur de la nappe sénonienne.

Ainsi, au point de vue *hydraulique* nous pouvons distinguer trois complexes :

a) Sénonien inférieur imperméable, mur de la nappe Pontien sableux - Campanien ;

b) Complexe perméable comprenant les calcaires du Sénonien et les sables pontiens superposés ;

c) Complexe imperméable comprenant les argiles rouges du Pontien, toit de la nappe Pontien inférieur - Sénonien, et les argiles grises à bancs de gypse du Pliocène qui leur font suite.

Le Quaternaire ne joue qu'un rôle peu important par rapport au Pontien et au Sénonien.

LA STRUCTURE

L'élément essentiel de la structure du Djerid est la chaîne anticlinale SSW-NNE, qui borde la rive nord du chott Djerid. Elle comprend l'extrémité orientale du Chareb (dj. Drhoumess) prolongée à l'Ouest par les

dômes de Ragoubet Sellam, Jeccha, ensellement de Tozeur, Draa el Djerid, Gour Beni Mzab, Rhar Moussa, Garet et Tir (pl. VI, hors-texte).

L'orogénèse de ce pli s'est effectuée en deux phases, l'une post-maestrichtienne, l'autre post-pliocène. La phase post-maestrichtienne n'a affecté que la zone occupée actuellement par le Chareb qui a subi par conséquent les deux plissements. Le pli se présente ainsi avec une intensité croissante de l'Ouest à l'Est et il en résulte que les terrains affleurants dans l'axe anticlinal sont de plus en plus anciens au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'Est : Pontien supérieur entre l'Algérie et Nefta, Pontien inférieur entre Nefta et Tozeur, Sénonien supérieur dans le dôme de El Oudiane, Sénonien inférieur dans le Chareb occidental.

Les dômes sont nettement fusiformes notamment le Draa el Djerid dont le grand axe mesure 25 km. de l'Ouest à l'Est pour une largeur de 8 km. Les flancs sont inclinés de 30° au Dhroumess, 45° à 50° au Draa el Djerid, 35 à 40° au delà de Nefta.

LES POINTS D'EAU

Les sources. — Les agglomérations humaines importantes de Nefta - Tozeur - El Hamma - El Oudiane doivent doivent leur origine à des émergences naturelles.

Nefta. — Les sources de Nefta émergent sur le quart périclinal SW du Draa el Djerid où affleurent les sables pontiens. Elles sont groupées dans une sorte de cirque, la corbeille de Nefta. Au total huit sources principales contribuent à former l'oued qui irrigue la palmeraie (fig. 22).

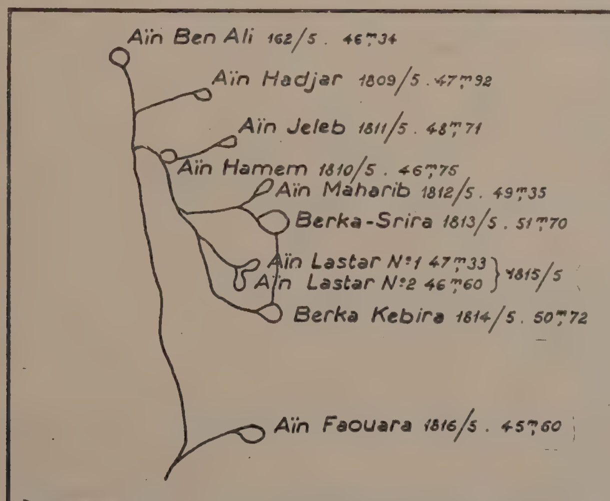


Fig. 22. — Schéma des sources de Nefta.

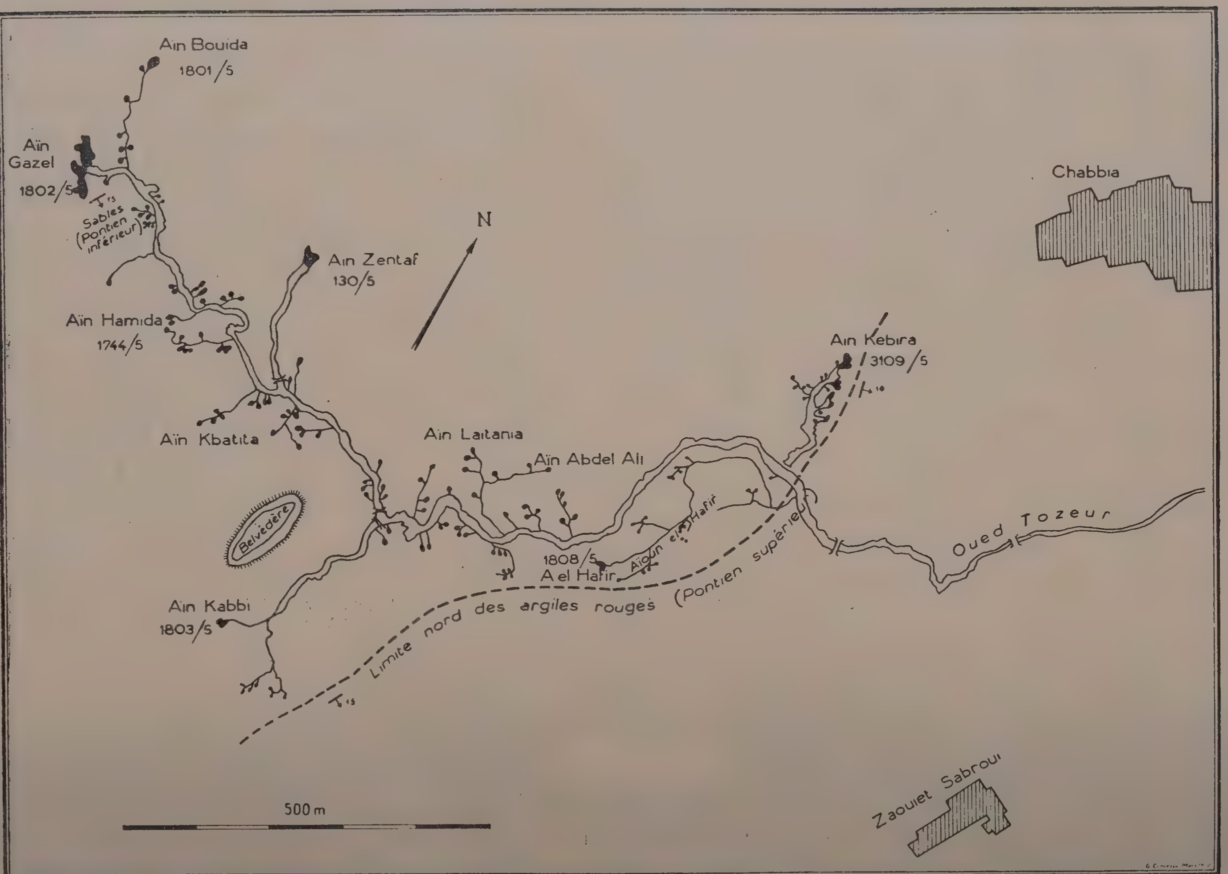


Fig. 23. — SCHÉMA DES SOURCES DE L'OUED TOZEUR.

Tozeur. — Sur le quart périclinal SE du Draa, l'analogie est complète et étroite avec les émergences de Nefta. L'oued de Tozeur est formé par les filets d'eaux émergeant de dix sources principales et d'une infinité de griffons. Toutefois, les sources de Tozeur sont échelonnées le long d'une entaille dans les sables pontiens (fig. 23 et 24).

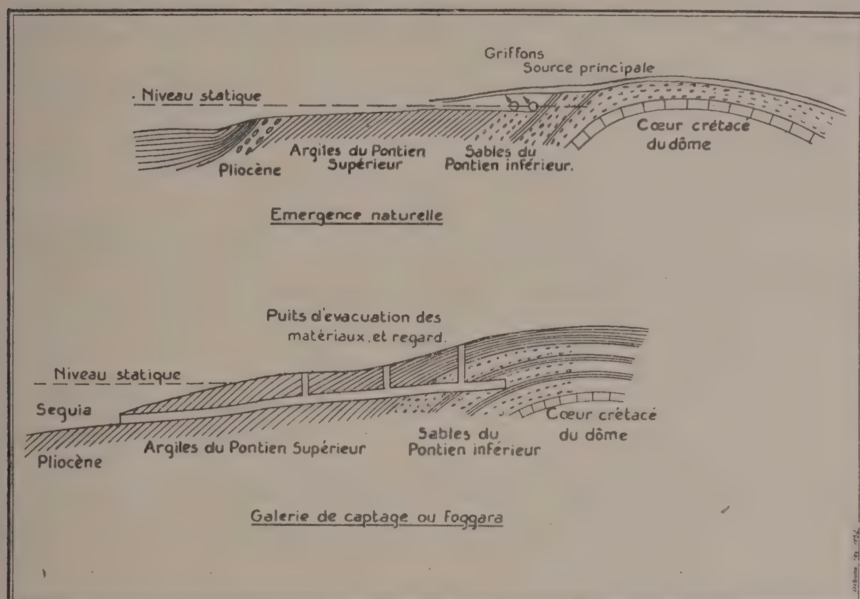


Fig. 24. — Sources artésiennes de Tozeur — Galerie de captage.

El Hamma. — Sur le périclinal Ouest du dôme de Jeccha, le mode d'émergence des sources d'El Hamma tient à la fois de la corbeille de Nefta et du ravin de Tozeur. L'Aïn en Nchoua, la source principale, émerge d'une corbeille de sables et, des lits de l'oued qu'elle a creusés, sourdent une infinité de points d'eau. Certaines émergences d'El Hamma sont nettement thermales (38° à 39°).

El Oudiane. — La source naturelle d'El Oudiane est Sebba Biar. C'est une émergence d'une fissure du Maestrichtien incliné à 20°.

Les tranchées. — L'extension des palmeraies d'El Hamma et El Oudiane par les moyens indigènes a consisté à creuser au voisinage des sources naturelles des puits dont l'eau est évacuée à partir du fond par une tranchée. Ce sont en somme des *foggara* à ciel ouvert.

Les foggara. — Les véritables foggara, galeries souterraines avec puits d'évacuation ont été creusées par les premiers Européens dans le Djerid. Les travaux considérables que nécessite leur établissement font que leur nombre est réduit : une à Tozeur (Aïn Tusouros), deux autres à

Helba et Castillia ; une quatrième a été le point de départ de la palmeraie de la Société de l'Oasis au N d'El Hamma (Aïn Dernis).

LES PUITS ARTÉSIENS. — L'exploitation de la nappe du Djerid par les moyens modernes remonte à 1898-1900, date à laquelle a été tenté l'un des premiers forages dont on ait conservé les traces. Profond de 206 m. et situé en bordure du chott Rharsa en un point d'épaisseur maximum des sédiments, il n'avait donné d'ailleurs aucun résultat. A partir de 1920, les travaux de forages se sont intensifiés. Un certain nombre ont été infructeux pour deux raisons :

1° manque de puissance des appareils (appareils à battage, impropres aux travaux dans les sables fluents) ;

2° implantation choisie plus en fonction des terrains irriguables que des conditions géologiques et du niveau statique. L'arrivée de rotaries et les études hydrogéologiques sérieuses ont conduit à des résultats positifs.

LA NAPPE

L'examen des logs de forages et l'observation des émergences naturelles où les coupes sont complètes, comme à Sebba Biar ou Aïn Krizi, montrent que les sables reposent directement sur le Sénonien supérieur. Celui-ci est peu fissuré, sauf dans les exemples précédents ; mais en fait il est aquifère, se comportant comme le drain collecteur des sables. Du point de vue chimique, l'étude montrera des variations de composition suivant qu'il s'agit d'eaux de calcaires ou de sables.

ETUDE DYNAMIQUE

NIVEAU STATIQUE

Sur le flanc sud de la chaîne, d'Ouest en Est, on relève les niveaux statiques suivants : 55 m. à l'Aïn Dhroumess, émergence la plus occidentale du Djerid, puis le niveau statique s'abaisse aux environs de 48 m. à Kriz (sources de la zone Ouest), puis de 42 m. aux sources de la zone Est. Dans la région de Sebba Biar le niveau statique minimum est de 47,46 m. à Aïn ben Zaouche, avec un maximum de 50,80 m. (Aïn Jar Chaouche) et 51,52 m. à Ouled Majed (forage). Dans la zone de Zaouiet el Arab-Degache, le minimum est à 48,26 m. (A. Djedida) à l'Ouest et le maximum 53,90 m. à l'Aïn Menchia (5185/5) à l'Est. Dans les forages les niveaux statiques sont respectivement de 56,50 m. à Menchia (79/5), 57,90 m. à Castillia (80/5), 57,17 m. à Helba (77/5), 55,12 m. à Tozeur-gare (5289/5), 64,14 m. à Rherdgaïa I (5487/5). Les sources de la corbeille de Nefta sont à 51 m.

Au flanc N de la chaîne, du NW au SE, les niveaux statiques sont les suivants :

Forage de Chakmou 1951-52 (5776/5)........ 54 m.
Forage de Chakmou Oued (3392/5).......... 51,44 m.
Forages de la Société l'Oasis :
Puits Layne (76/5) .... 51,44 m.
Puits S. I. F. (5222/5) .... 49,34 m.
Sources d'El Hamma (Aïn Nchoua) (1834/5).. 47 m.
Forage de Neflaïet (5436/5) .... 54,11 m.

Ces niveaux sont relevés d'après des bases différentes et ne peuvent être considérés comme absolus. C'est que tous les points n'ont pas été rattachés au nivellement général de précision commencé en 1950.

Quoi qu'il en soit, le niveau statique est plus élevé sur le flanc Sud que sur le flanc Nord. Il est également plus élevé aux forages qu'aux sources, conséquence mécanique, les émergences naturelles présentant une perte de charge qui est considérablement réduite aux forages. Cette remarque faite, le plan d'eau se trouve plus élevé à l'Ouest et dans la région de Rherdgaïa. Son abaissement dans les régions intermédiaires étant vraisemblablement dû à l'abondance des émergences naturelles et artificielles et, pour ces dernières, à la tendance qu'ont les usagers à abaisser le niveau de leurs sources pour en augmenter le débit.

DEBITS

A Nefta, l'ensemble des sources (8 sources principales) de la corbeille de Nefta débite.................................. 500 l.-s.

A Tozeur, le débit de l'oued fourni par 12 sources principales est de .... 500 l.-s.

A El Oudiane (45 sources entre Degache et Kriz) les débits sont irréguliers, subissant des variations en fonction du curage. Sebba Biar donne environ 50 l.-s. Les séguias des nombreuses sources ne se réunissent pas, leur débit total est donc difficile à évaluer. On admet le chiffre de .... 300 l.-s.

A El-Hamma, 20 sources, dont 10 principales débitent environ .... 170 l.-s.

Les puits artésiens, dont les conditions de captage sont différentes (irrégularité de la granulométrie des sables, fractionnement du complexe sableux par des lentilles argileuses imposant une zone de captage défavorable) donnent des débits variables. Des baisses de débit sont constatées à l'usage. Elles proviennent de la corrosion des tubages : invasion des sables fluants, incrustation des crépines. Le puits Layne (76/3) étudié depuis 20 ans baisse en moyenne de 3 litres-seconde par année sans diminution sensible du niveau statique. C'est ainsi que les débits

spécifiques sont compris entre 8 l.-s. maximum relevé au forage S.I.F. (5222/5) de la Société l'Oasis et 1,17 à Rherdgaïa (5487/5) où la rupture des tiges lors du forage n'a permis que le captage des sables supérieurs fluents. Le meilleur rendement est en général donné par le captage des sables de base qui sont plus grossiers.

Le débit total de la nappe du Djerid atteint 1850 litres par seconde.

COMPOSITION CHIMIQUE

RESIDU SEC

Nous donnons plus loin (p. 103) un tableau de la composition chimique des principaux points d'eau du Djerid. A l'exclusion des eaux phréatiques, toujours nettement plus chargées, les résidus secs répondent aux caractéristiques suivantes.

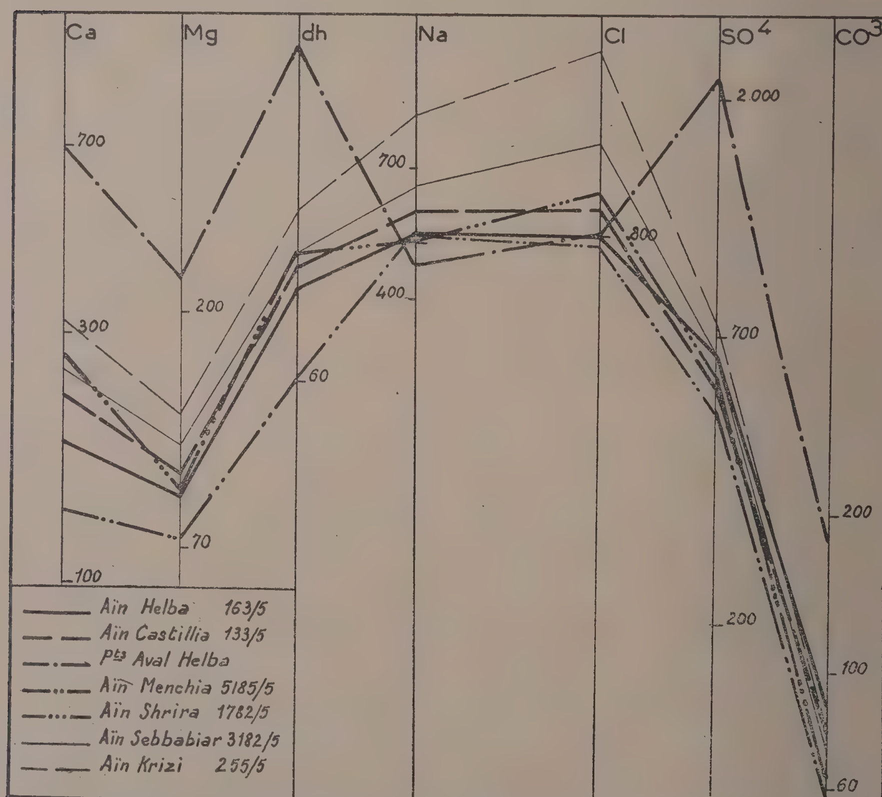


Fig. 25. — Diagrammes logarithmiques des eaux du Djerid.

Pour les sources. — *Flanc Sud.* — A Nefta, ils sont compris entre 2.976 mg.-l. (Berka Kbirâ) et 2.482 mg.-l. par litre (Berka Shrira). A Tozeur, entre 2.780 (A. Bouida) et 1.926 mg.-l. (A. Kaabi). A El Oudiane (Ceddada) entre 4.052 (A. el Oued) et 1.720 mg.-l. (A. Gredi), pourtant sources voisines. Les eaux du calcaire (Sebba Biar 2.982 mg.-l.) sont moins chargées que la moyenne.

Flanc Nord. — 2.020 mg/l. (Aïn en Nchoua) ; 2.532 mg/l. (Neflaïet) ; 5.010 mg/l. (Aïn Gazel).

Pour les forages. — En général, les eaux des forages sont moins chargées que celles des sources.

Flanc Sud. — Le minimum est 1.460 mg.-l. (forage de Menchia), le maximum 3.057 mg.-l. (Rherdgaïa 1 bis).

En notant que Rherdgaïa 1 bis constitue une exception, les eaux des autres forages voisinent autour de 1.700 - 1.800 mg./l.

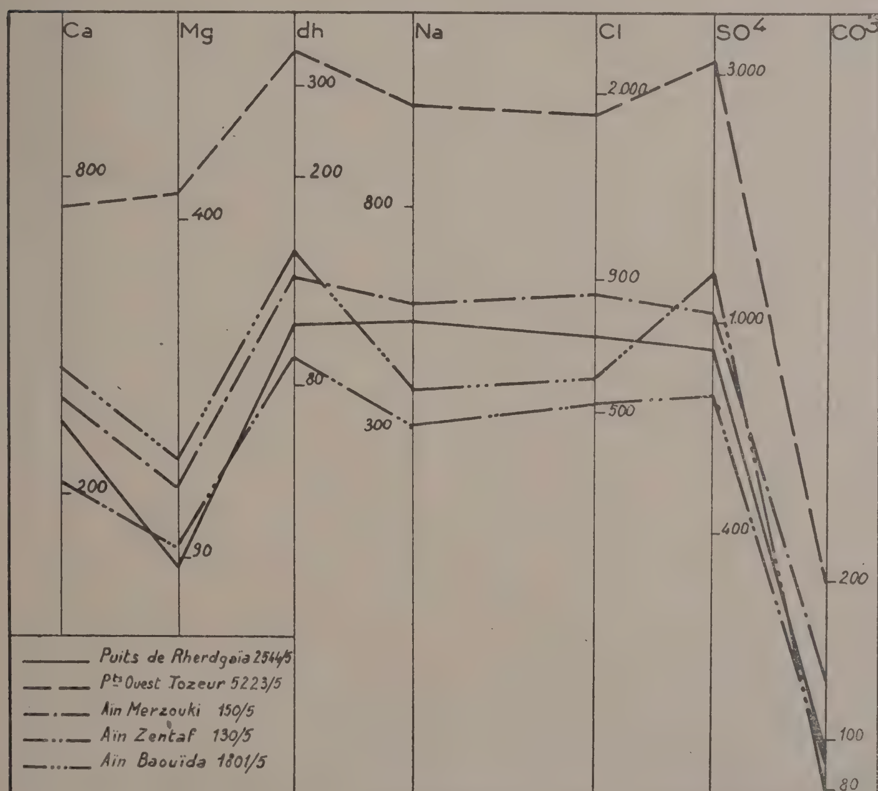


Fig. 26. — Diagrammes logarithmiques des eaux du Djerid.

Flanc Nord. — Minimum : Neflaïet, 3.056 mg.-l., maximum : sondage S.I.F., 5.160 mg.-l.

En résumé, le flanc Nord est plus chargé que le flanc Sud. Dans l'ensemble : les eaux des forages et des sources chaudes, donc les eaux profondes, sont les plus concentrées ; quant aux sources de A. Nchoua - A. Cheik, dont la température est normale, elles sont relativement peu chargées (infiltration directe de la nappe Sud).

DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES

Les analyses ioniques transposées sous forme de diagrammes logarithmiques présentent des allures semblables. Dans l'ensemble, la nappe est homogène. On distingue pourtant deux types de diagrammes (fig. 25, 26 et 27) :

1. L'un ayant pour type les eaux franchement pontiennes [ex. A. Zentaf (130/5) à Tozeur].

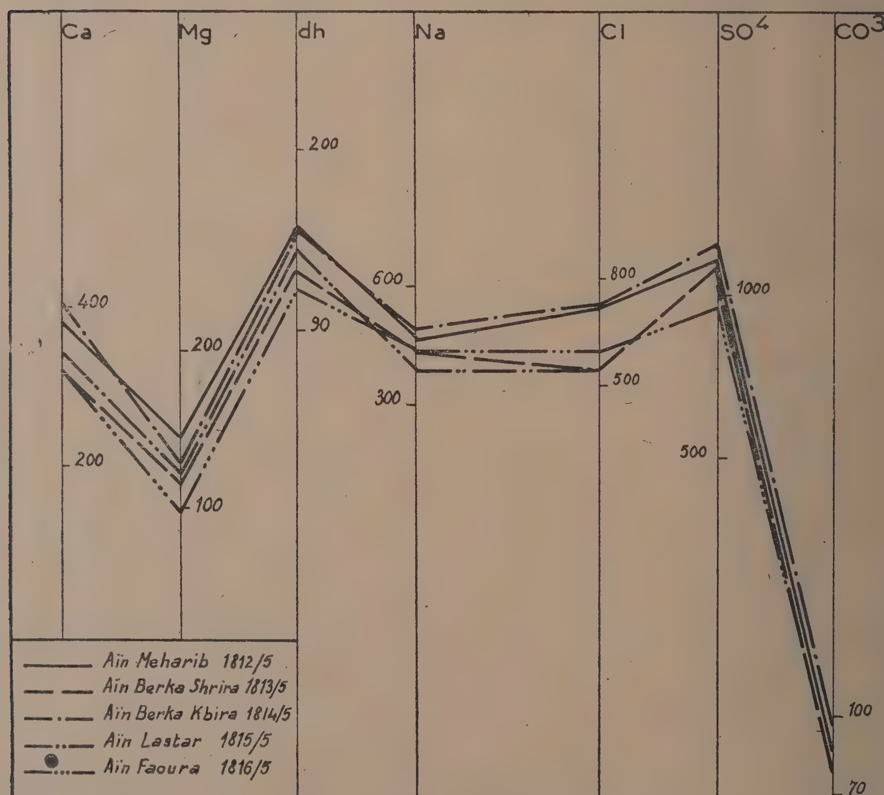


Fig. 27. — Diagrammes logarithmiques des eaux du Djerid.

2. Le second type est celui des eaux émergeant du Sénonien (Sebba Biar 3182/5). A ce type se rapportent un certain nombre de diagrammes appartenant notamment aux galeries de captage (Aïn Tusouros 134/5, A. Helba 163/5, A. Castillia 133/5) ainsi que la majorité des émergences du flanc Nord, en particulier les sources thermales d'El Hamma.

N°	DÉSIGNATION DE L'ECHANTILLON	Teneur en milligrammes par litre								
		Ca	Mg	Na	Cl	SO^4	CO^3	P. H.	D° H.	R. S.
1812/5	Aïn Meharib.....	374	135	394	690	1183	84		146°	2881
1813/5	Aïn Berka Shrira.	302	112	368	532	1112	78		119°	2482
1814/5	Aïn Berka Kebira.	403	119	414	710	1242	87		146°	2940
1815/5	Aïn Lastar	334	118	338	540	1108	84		129°	2536
1816/5	Aïn Faouara.....	299	98	368	570	928	99		112°	2370
2544/5	Puits de Rherdgaïa	277	87	483	710	911	93	7,7	103°	2510
5223/5	Puits de l'Ouest de Tozeur	693	456	1219	1881	3101	205	7,4	352°	7852
150/5	Aïn Merzouki ...	303	126	525	849	1008	117		130°	2954
130/5	Aïn Zentaf	208	95	313	524	732	81		90°	1966
163/5	Aïn Helba	186	88	530	820	667	79		80°	2382
133/5	Aïn Castillia	228	97	565	902	574	79		98°	2536
	Puits aval de Helba	679	234	460	816	2235	168	7,4	260°	4940
5185/5	Aïn Menchia	138	73	529	781	568	63	8,00	63°	2078
1782/5	Aïn Shrira	273	92	529	994	593	66	7,8	104°	2560
3182/5	Aïn Sebba Biar..	252	110	657	1207	686	75	7,1	106°	2982
255/5	Aïn Krizzi	315	124	989	1810	783	78	7,6	127°	3988
1801/5	Aïn Baouïda	356	140	361	580	1256	81		143°	2780

ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DES PRINCIPAUX POINTS D'EAU DU DJERID.

TEMPERATURES

La moyenne des températures des sources est de 28°.

Les forages donnent des eaux subthermales, ce qui se conçoit, étant donné leur profondeur ; toutefois des forages profonds comme Rherdgaïa I (5487/5. — Profondeur 690 m.) accusent 31°, tandis que Neflaïet (5436/5. — Nappe entre 190 m. et 332 m.) donne 35°2 ; Tozeur-Gare (5289/5. — Captage entre 188 m. et 326 m.) 31° ; Helba (5262/5. — Entre 310 m. et 517 m.) 31° ; le Puits S.I.F. (5222/5, flanc N. — Entre 200 m. et 320 m.) 37°. Des anomalies se relèvent à certaines sources qui atteignent 31° (A. Shrira à Degache).

Quant aux sources d'El Hamma, leur température, qui atteint 37 à 40°, est nettement thermale et l'explication de cette anomalie reste du domaine des hypothèses. Néanmoins, on peut retenir que le thermalisme est plus

accentué sur le flanc Nord de ce pli, avec un maximum à El Hamma. La température moyenne des sources est de 27°-29° à Tozeur - Nefta - El Oudiane.

ORIGINE DE LA NAPPE

Nous laisserons de côté les théories anciennes qui ont tenté d'expliquer l'origine des différents groupes de sources du Djerid. Récemment, J. ARCHAMBAULT [6] a recherché l'alimentation de la nappe du Djerid *aux abords* même du *chott Rharsa*, notamment sur sa bordure Nord, qui jouerait le rôle le plus important. Or, l'examen des salures et des niveaux statiques des forages exécutés depuis infirme cette hypothèse :

1. Les salures sont plus fortes sur le flanc Nord ;
2. Le niveau statique est plus élevé sur le flanc Sud.

Il y a certainement communication entre les nappes pontiennes du Djerid et de Metlaoui, mais ces dernières contribueraient plutôt à équilibrer la nappe du Djerid qu'à l'alimenter.

D'autre part, les niveaux statiques observés sur le flanc Sud sont du même ordre (compte tenu des dépressions dues à l'exploitation) dans la région du Drhoumess et dans celle de Nefta. On ne peut donc déceler un mouvement de la nappe entre l'Est et l'Ouest. C'est donc vers le Sud qu'il faut rechercher l'alimentation des sables du Pontien et des calcaires du Campanien.

L'hypothèse d'une alimentation *par le Nefzaoua*, plausible, est appuyée par les faits suivant :

1. Analogies chimiques (concentrations ioniques) de la nappe campanienne du Nefzaoua avec la nappe Sénonien-Pontien du Djerid, avec concentration plus forte dans le Djerid.

2. Niveau statique du Nefzaoua (70 m.) plus élevé que celui du Djerid (55 à 60 m.).

Pour conclure, il faut attendre la réalisation du programme de recherches par forages à la frontière algérienne et au Sud du chott Djerid, ce qui amènera la liaison avec la nappe du Nefzaoua. Dans cette hypothèse, c'est le *plateau sénonien des Hamada*, entre Bordj Lebœuf et Derj (Alt. 300 à 400 m.) ainsi que la cuvette du Grand Erg qui alimenteraient les points bas du Nefzaoua et du Djerid.

POSSIBILITÉS FUTURES

Les évaluations de J. ARCHAMBAULT, considérant l'alimentation de la nappe vers le Nord, montraient que la nappe étaient en mesure de débiter 2 à 3 m³-seconde, c'est-à-dire près du double de ce qu'on lui de-

mande actuellement. Ces chiffres se trouvent sans valeur aujourd'hui, le problème de l'origine de la nappe étant remis en cause.

Jusqu'ici, aucun indice d'affaiblissement de la nappe n'a été observé. Le débit des puits diminue certes mais par entartrage, corrosion des tubes, invasion des sables fluents.

Le programme d'exploitation de la nappe du Djerid comprendra une série de forages, dispersés le plus régulièrement possible, entre le djebel Dhroumess et la frontière algérienne, sur les deux flancs de la chaîne anticlinale. Théoriquement, il semble qu'on pourrait ainsi, sans compromettre les réserves de la nappe, implanter un forage tous les 5 km. En pratique, le nombre des forages sera réduit par les considérations pédologiques d'une part, et par les conditions tectoniques et topographiques d'autre part. En effet, l'expérience montre que pour obtenir un débit de l'ordre de 80 l.-s., il faut un artésianisme de l'ordre de 20 à 30 m. La disposition des terrains, pour obtenir cet artésianisme, impose l'implantation sur les couches les plus récentes du pli, où le pendage est souvent très fort, et en conséquence, la profondeur du forage est de l'ordre de 700 à 800 m.; le captage de la nappe, dans ces conditions, est difficile à réaliser. La solution consistant à siphonner un forage implanté au voisinage du niveau statique, donc dans des conditions de faible profondeur, n'est heureuse que dans le cas où l'on peut être fixé sur le pendage et la composition des sables (région d'El Oudiane - Dhroumesse). Ailleurs, on risque, en se rapprochant du cœur anticlinal, de trouver une phase sableuse envahie par des récurrences argileuses, ou même des sables argileux, comme le cas s'est produit à Rherdgaïa 1 bis.

CHAPITRE II

HYDROLOGIE du NEFZAOUA

Les Tunisiens appellent Nefzaoua la région naturelle située à l'Est du chott Djerid et au Sud de la chaîne montagneuse du Tebaga, région caractérisée par son aspect de plaine parsemée d'un grand nombre de sources entourées toujours d'un bouquet de palmiers, parfois d'une oasis. Le terrain est en général sablonneux, soit dunes, soit sol sableux avec végétation ; en outre, les sebkras y sont fréquentes

LES TERRAINS

Aux affleurements, on relève la présence du Turonien calcaire — formant l'arc de la chaîne du Tebaga — du Pontien, du Quaternaire. Le Campanien, masqué par le recouvrement pontien n'apparaît qu'à l'Est du Nefzaoua proprement dit, mais il est recoupé par tous les forages (pl. VII, hors-texte).

Quaternaire. — La partie superficielle est constituée par des sables éoliens. Immédiatement en-dessous viennent des argiles très sableuses, généralement de couleur grisâtre, où l'on trouve des débris de Mollusques aquatiques, avec des horizons de vases noires fétides. L'épaisseur de ces formations excède rarement une dizaine de mètres.

Pontien. — Le Quaternaire repose, souvent d'une façon insensible, sur des argiles rouges alternant avec des argiles grises ou vertes. Ce complexe argileux est souvent très gypseux, et envahi par des précipitations calcaires désignées improprement sous le terme de *tuf* ou *travertin*.

Parfois, la base du Pontien est sableuse mais, à la différence de ce que l'on observe dans le Djerid, la phase sableuse n'est pas constante et toujours de faible épaisseur : par exemple, 17 m. de sables fins au sondage de Kebili (23/5), 25 m. à Negga, 13,50 m. à Kebili (57/5), 9 m. à Kebili (17/5). Le forage de Negga a rejeté, provenant des sables, des dents de Vertébrés d'âge pontien qui ont permis de dater la base de l'étage et, par comparaison avec le Pontien du Djerid, le complexe argileux du sommet.

La puissance du Pontien passe de 25-40 mètres à Kebili, à plus de 100 mètres à Guettaia.

CAMPANIEN. — Le Pontien est nettement transgressif sur le Crétacé dont le terme supérieur est le Campanien, inconnu en affleurements à Kebili. Suivant leur position, les forages ont recoupé des calcaires d'aspect très variable, tantôt calcaires blancs, durs, tantôt des calcaires marmoréens, ou des calcaires à silex, parfois des calcaires marneux, et des alternances de calcaires et de marnes. Un certain nombre de carottages a fourni des fossiles campaniens, notamment des Gastéropodes et des Inocérames.

Le Campanien n'a été traversé entièrement qu'au récent forage de reconnaissance à grande profondeur de Ksar Tebeul à Kebili, où il a une puissance de 60 m.

SÉNONIEN INFÉRIEUR. — Comme le Campanien, il est inconnu dans le Nefzaoua, sauf au forage de Ksar Tebeul, qui montre une série marneuse avec intercalations calcaires, puissante de 220 m.

TURONIEN. — Bien caractérisé par une dalle calcaire qui forme la crête Sud du djebel Tebaga, le Turonien change de faciès sous Kebili.

Le forage de Ksar Tebeul a traversé, après le Sénonien inférieur, à partir de 382 m. et jusqu'à 1.023 m., une série compréhensive de marno-calcaires gris, à intercalations d'anhydrite, qui groupe vraisemblablement en plus du Turonien, le Cénomanien et une partie de l'Albien, étages individualisés dans le dôme du Fedjedj.

Du point de vue hydraulique, les terrains comprennent donc :

- Le Quaternaire-Pontien, au sommet : série imperméable (à l'exception de quelques bancs sableux à la base) ;
- Le Campanien, éminemment aquifère par fissuration des formations calcaires ;
- Le Sénonien inférieur, mur de la nappe campanienne ;
- Le Turonien, calcaire et aquifère dans le Tebaga, marneux à anhydrite sous Kebili et donc stérile.

LA STRUCTURE

Le Nefzaoua est l'extrémité de la plate-forme saharienne, qui se termine par les falaises des crêtes du djebel Tebaga. Les couches subhorizontales du Dahar se relèvent au Nord de Kebili pour former le dôme du Fedjedj. Vers l'Ouest, au dôme du Fedjedj correspond l'effondrement du chott Djerid sous lequel s'ennoie le Crétacé. Nous étudierons plus loin en détail l'allure du substratum crétacé dont les courbes d'égales profondeur se moulent sur la rive Est du chott Djerid vers lequel elles s'enfoncent avec une pente de 0,2 à 1% (pl. VII). Il est probable que la surrection du dôme du Fedjedj a été accompagnée d'une faille de bordure qui met en contact le Campanien de Kebili avec le Sénonien infé-

rieur-Turonien de la crête du Tebaga. Cette fracture a son plus grand rejet à l'Ouest. Elle s'atténue vers l'Est et n'existe plus au djebel Toual, à 40 km. Est de Kebili, où la série crétacée complète affleure en parfaite continuité.

LES POINTS D'EAUX

Le Nefzaoua est alimenté par un grand nombre de sources. Ces ressources naturelles sont complétées par des puits artésiens.

SOURCES

On compte, 30 sources sur la feuille de Menchia, 24 sur celle de Kebili et 140 à Douz. Soit au total près de 200 sources actives. Le mécanisme des émergences est encore mal connu. Les remontées artésiennes du Campanien s'effectuent à travers un recouvrement miocène épais de 30 à 100 mètres, sans qu'on puisse faire intervenir de failles. M. Bousquet suppose qu'il s'agit de fractures, par où l'eau des calcaires jaillissait, au milieu des vases pontiennes non encore solidifiées, et ayant subsisté sous forme de cheminées relativement perméables. On connait trois types d'émergences naturelles qui permettent de retracer l'évolution de ces sources : Aïn Brimba, Aïn Taouerrha et l'une quelconque des sources classiques du Nefzaoua (fig. 28, p. 110).

Aïn Brimba. — La source a été aménagée. Elle émerge à la base des calcaires turoniens de la crête Sud du Tébaga par une tranchée creusée au contact des calcaires dans les sables argileux, grès et argiles rouges du Pontien supérieur Le calcaire est visible par curage La température est de 23°5 et le débit de 1 l.-s. Une deuxième source, à 500 mètres de la principale, ne montre pas le calcaire. L'eau remonte par griffons dans des sables provenant du lavage des argiles pontiennes.

Aïn Taouerrha. — Cette source est remarquable par son débit de l'ordre de 50 l.-s. qui aurait atteint autrefois 90 et 100 l.-s. C'est un bassin circulaire de 30 mètres de diamètre, profond de 8 m. situé au milieu des dunes. Un forage exécuté sur ses bords a montré qu'elle émergeait des calcaires turoniens situés à une profondeur de 31 mètres. Ces derniers ont été traversés par la sonde sur 12 mètres. Cette source tarit périodiquement à la suite des vents de sables violents, fréquents dans la région.

D'ordinaire, la source, tarie par l'invasion de sables éoliens, reprend d'elle-même son débit. Au dernier arrêt qui date de fin 1948, la période de tarissement se prolongeant et mettant en danger les palmeraies, la Direction des Travaux Publics décida le curage. Il donna des résultats satisfaisants.

Résidu sec : 3.470 mg/l. ; température : 26°2.

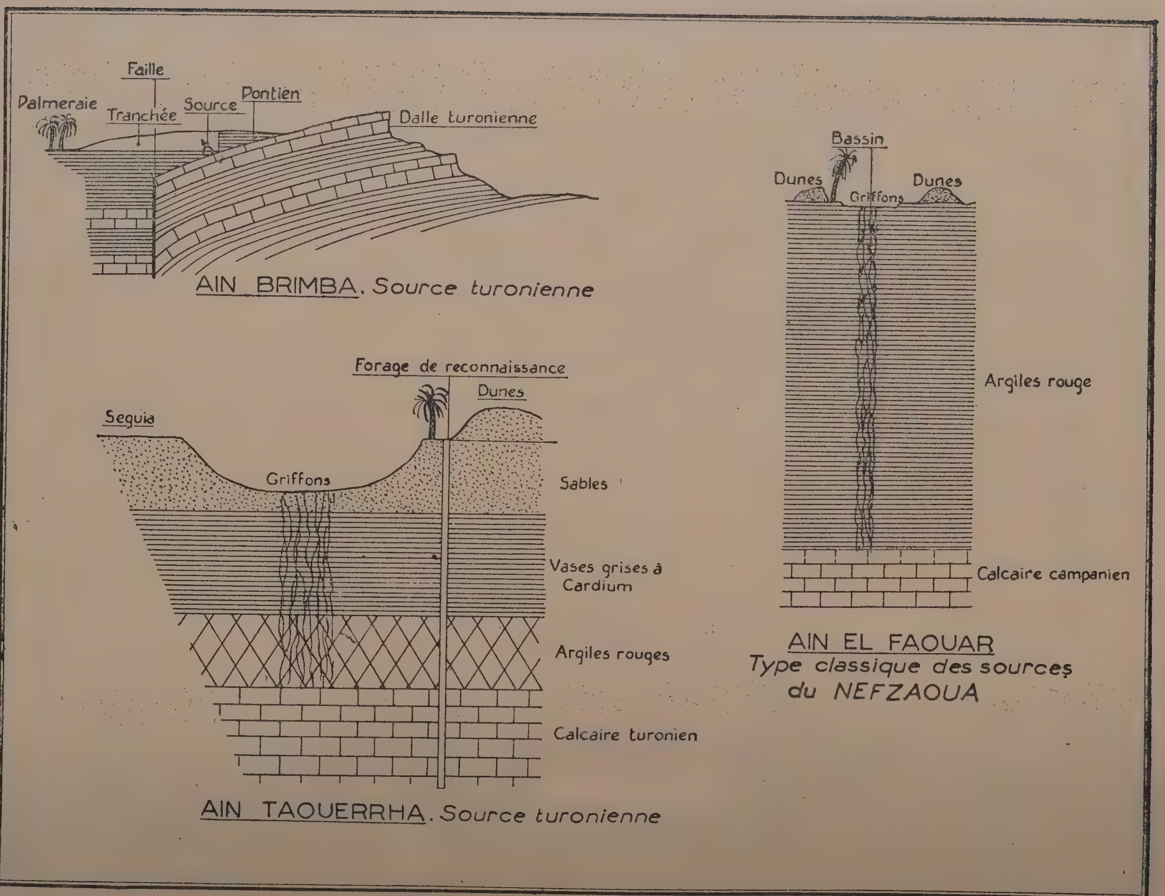


Fig. 28. — Schéma des types de sources du Nefzaou.

Entre A. Brimba et A. Taouerrha ainsi que sur le prolongement de cette ligne, à l'Ouest s'échelonnent toute une série de sources dont la situation et plus encore la composition chimique identique prouvent leur origine turonienne. Il est certain également que la zone où émergent ces sources correspond à la faille de bordure du Tebaga.

N°	DÉSIGNATION DE L'ÉCHANTILLON	Teneurs en milligrammes par litre								
		Ca	Mg	Na	Cl	SO^4	CO^3	P. H.	D° H.	R. S.
72/5	Negga II	187	82	258	497	577	69	7,00	79°	1780
		206	88	267	517	582	75		86°	1740
46/5	Toumbar	178	84	245	467	547	60		77°	1594
73/5	Guettaïa II	189	85	224	504	498	72		80°	1580
68/5	Tembib I	171	81	242	460	520	66		74°	1654
2003/5	Telmine II	167	80	293	487	498	66		73°	1698
5192/5	Turonien	451	155	782	1349	1565	72		172°	4536
52/5	Rabta	170	81	288	501	545	75		74°	1661
1978/5	Aïn Brimba	505	158	529	817	1683	78	7,1	187°	3980
18/5	Bazma I	172	82	206	440	403	120		75°	1430
31/5	Bazma II	162	65	271	445	411	144		66°	1498
6/5	Tenkita I	228	60	260	440	449	186		80°	1630
5435/5	Tenkita III	146	65	230	419	389	63	7,4	62°	1510
70/5	Rhamat I	171	69	212	430	400	66		72°	1358

ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DES PRINCIPAUX FORAGES DU NEFZAOUA.

Aïn el Faouara. — Située à 45 km. au SW de Kebili. Alt. : 30 m. Bassin circulaire d'un diamètre de 15 mètres, avec griffon très visible. Profondeur : 0,50 au griffon, 1 m. au centre. Débit : 1 l.-s. Température : 19°. Résidu sec : 1.280 mg/l.

Un sondage placé à 1 km. 500 de la source a traversé 86 m. 50 d'argiles rouges du Pontien et atteint la nappe du Campanien lequel a été recoupé sur 60 m., puis 17 m. de marne jaune et 14 m. de calcaire tendre renfermant une seconde nappe (Résidu sec : 1220 mg/l.).

Niveau statique de la nappe : 62 m. 13.

Les autres sources émergent dans des conditions semblables. Dans la majorité des cas, le bassin est circulaire et entouré de dunes fixées d'une part par le dépôt de sels, d'autre part par la végétation qui entretient l'humidité. Le cône a donc tendance à s'élever. Dans le cas extrême, la source est morte, entièrement recouverte par les dépôts concrétionnés. On connaît de très nombreux exemples de ces sources fossiles. On voit donc que la nappe se fraie un passage dans un recouvrement d'argiles, épais de quelques mètres à près de 100 mètres (Guettaïa).

FOGGARA

Une partie de la presqu'île de Kebili, dans la région de Menchia, est alimentée par les faggara d'origine ancienne qui recoupent la base des calcaires du Turonien.

FORAGES

Depuis 1907, 62 puits artésiens ont été forés dont 15 pour la région de Souk el Biaz. Les 47 autres sont répartis sur l'ensemble du Nefzaoua (voir pl. VII).

LA NAPPE

La situation géologique des émergences et l'examen des compositions chimiques permettent de distinguer deux nappes différentes :

1. La nappe campanienne, qui remonte dans les sables pontiens ;
2. La nappe turonienne, localisée à la chaîne du Tebaga.

NAPPE CAMPANIENNE

NIVEAU STATIQUE. — Le niveau statique réel n'est atteint que dans les calcaires. Dans le Pontien, lorsqu'il est perméable, l'allure lenticulaire des formations sableuses ou argilo-sableuses intercalées de marnes, entraîne des pertes de charge considérables. Du Nord au Sud on relève :

El Faouar-Sabria	62,32 m.	Oued Melah IV	66,37 m.
Douz III	74,31 m.	Guettaïa II	63,64 m.
Gradi	70,66 m.	Tenkita III	64 m.
Ben Zitoun	73,59 m.	Rhamat II[1]	59,65 m.
Bechill II	75 m.	Negga III	74 m.

On observe donc des niveaux statiques de l'ordre de 70 m. au Nord (Negga) et au Sud (Douz III) ainsi que dans les zones intermédiaires. C'est dans la région de Souk el Biaz que le niveau est le moins élevé, 47 à 53 m. La plupart des forages doivent leur débit artésien, à un captage par tranchée au-dessous du terrain naturel.

DEBITS. — Dans les forages anciens (antérieurs à 1946), les débits supérieurs à 50 l.-s. (à l'origine du forage) sont exceptionnels :

El Goléta	90 l.-s.	Djemma	50 l.-s.
Douz II	60 l.-s.	Telmine I	200 l.-s.

Il n'en est pas de même aux forages exécutés depuis cette époque : (sans tenir compte de certains cas particulier : Bechri - Touarrhia) :

1. — Puits influencé par Rhamat I.

Douz III	105 l/s.	El Faouar I	31 l/s.
Les Adharas	150 l/s.	El Faouar II	12 l/s.
Oued Melah IV	95 l/s.	Rhamat II	39,5 l/s.
Ben Zitoun	224 l/s.	Guetteria II	37,6 l/s.
Gradi	120 l/s.	Tenkita III	1 l/s.
Negga III	50 l/s.	Tenkita IV	4 l/s.
Telmine II	65 l/s.		

Sur 17 forages exécutés entre 1907 et 1946, dans la nappe du Campanien (exception faite pour les forages de Souk el Biaz), quatre seulement ont donné des débits égaux ou supérieurs à 50 l.-s., tandis que sur 13 forages exécutés depuis 1947, 7 ont donné des débits supérieurs.

Les 43 forages du Campanien débitent (chiffre d'origine — sans tenir compte de débits ultérieurs) : 1.557, 7 l.-s., dont 871 l.-s. pour 13 forages exécutés depuis 1947. Soit :

17 forages entre 1907 et 1946 ; débit total : 686 l.-s. ; débit moyen : 40 l.-s.
13 forages entre 1946 et 1951 ; débit total : 871 l.-s. ; débit moyen : 67 l.-s.

Les conditions d'implantation de forages restant inchangées dans la moyenne, cette différence est due particulièrement aux méthodes modernes de forage. L'emploi des *rotaries* permet de forer sans éboulements et de tuber et cimenter au toit des calcaires. De plus, les *rotaries*, plus puissants que les appareils à battages primitifs, ont permis de recouper une plus grande hauteur de calcaires, découvrant ainsi des arrivées d'eau supplémentaires. Il faut tenir compte également du fait qu'autrefois beaucoup de forages ont été exécutés vers Souk el Biaz, près du niveau statique.

CAPACITE SPECIFIQUE. — La capacité spécifique est fonction de la fissuration, comme le montrent les exemples suivants :

El Goléa	5,5	Ben Zitoun	5,6	Negga III	1,4
Douz III	8,47	Gradi	7,5	Tenkita III	0,05
Les Adharas	10	Oued Melah	3,6	Tenkita IV	0,1
El Faouar	0,64	Rhamat	2,62	Bechilli	0,16

Dans l'ensemble, le Campanien du Nefzaoua est régulièrement fissuré, sauf dans la région de Tenkita, où les quatre forages n'ont rencontré qu'un calcaire récifal compact, et dans la région de Bechilli où le premier forage a échoué, et où le second ne donne qu'un débit spécifique faible, 0,6 l.-s. L'acidification est susceptible d'augmenter la capacité spécifique de 1 à 3, comme l'expérience de Tenkita IV l'a prouvé.

REPERCUSSIONS DES FORAGES LES UNS SUR LES AUTRES. — Sauf dans le cas de forages de remplacement, implantés dans une région généralement restreinte autour du forage primitif, les répercussions des forages les uns sur les autres, ne sont sensibles que dans la zone de Kebili, où l'éruption du forage de Telmine I a asséché ou considérablement réduit le débit de plusieurs puits ; ce qui explique en partie l'affaiblissement du niveau statique constaté à Kebili.

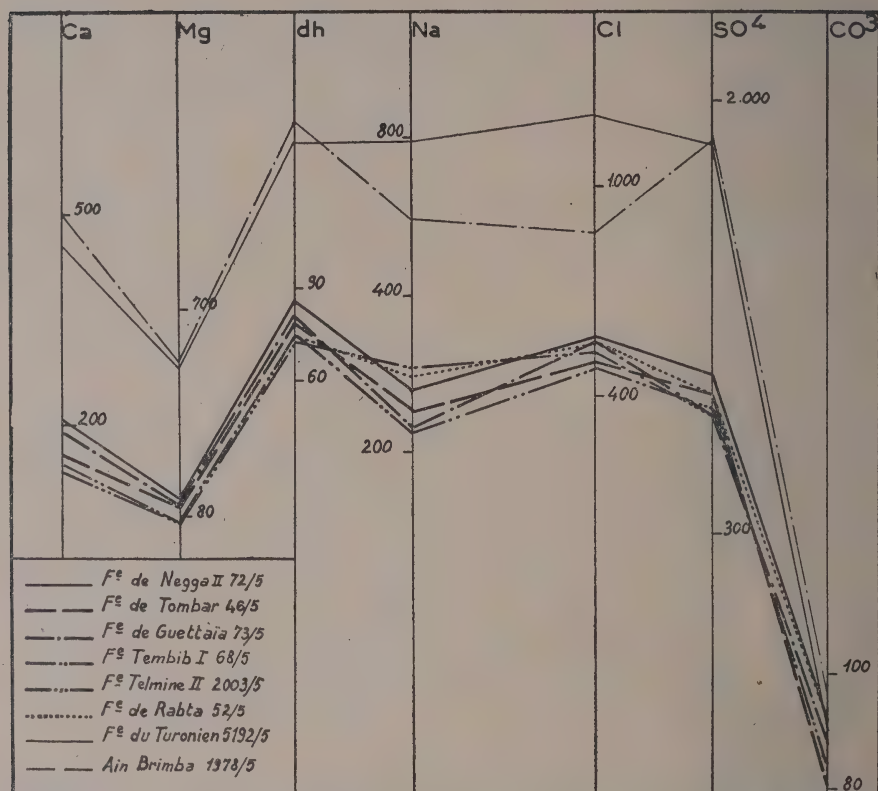


Fig. 29. — Diagrammes logarithmiques des faux du Nefzaoua.

COMPOSITIONS CHIMIQUES

Concentration globale. — Les résidus secs s'échelonnent entre 2.515 mg.-l. (forage 49/5 de Souk el Biaz), pour l'eau la plus chargée, et 625 mg-l. (forage de Galaa). Le groupe des forages de Kebili montre les plus fortes teneurs et la région de Douz les plus faibles.

Pour l'ensemble de la nappe campanienne, les salures oscillent entre 1.780 mg.-l. (Negga I) et 1.160 mg.-l. (El Faouar); on observe 1.040 mg.-l. à Gradi.

C'est donc à une zone de peu d'étendue de la région de Douz qu'appartient le privilège des très faibles teneurs, inférieures à 1 g.-l. (sauf Douz III : 1.206 mg.-l.). Ailleurs, la concentration serait légèrement plus forte au Nord qu'au Sud.

Amélioration des résidus secs. — Un bon nombre de forages du Nefzaoua montrent des résidus secs en baisse sensible depuis l'origine du forage :

Kebili VI	1710 mg. en 1911	Douz II	1020 mg. en 1913
	1491 mg. en 1935		841 mg. en 1935
		Telmine I	1840 mg. en 1915
Kebili VIII	2560 mg. en 1934		1519 mg. en 1935
	2234 mg. en 1935	El Golea	1209 mg. en 1913
			625 mg. en 1935
Kebili XII	2446 mg. en 1932	Oued Melah II	1428 mg. en 1927
	2257 mg. en 1935		1360 mg. en 1951

Composition ionique. — Diagrammes logarithmiques. — La composition chimique traduite sous forme de diagrammes logarithmiques montre que forages et sources appartiennent bien à une même famille, seule la concentration variant. Le type est choisi à Negga, qui donne le diagramme le plus net. On relève quelques anomalies qui tiennent à une teneur plus forte en ions Na et Cl ce qui remonte la partie moyenne des diagrammes et leur donne l'allure de ceux des eaux du Crétacé inférieur du chott Fedjedj (fig. 29, 30).

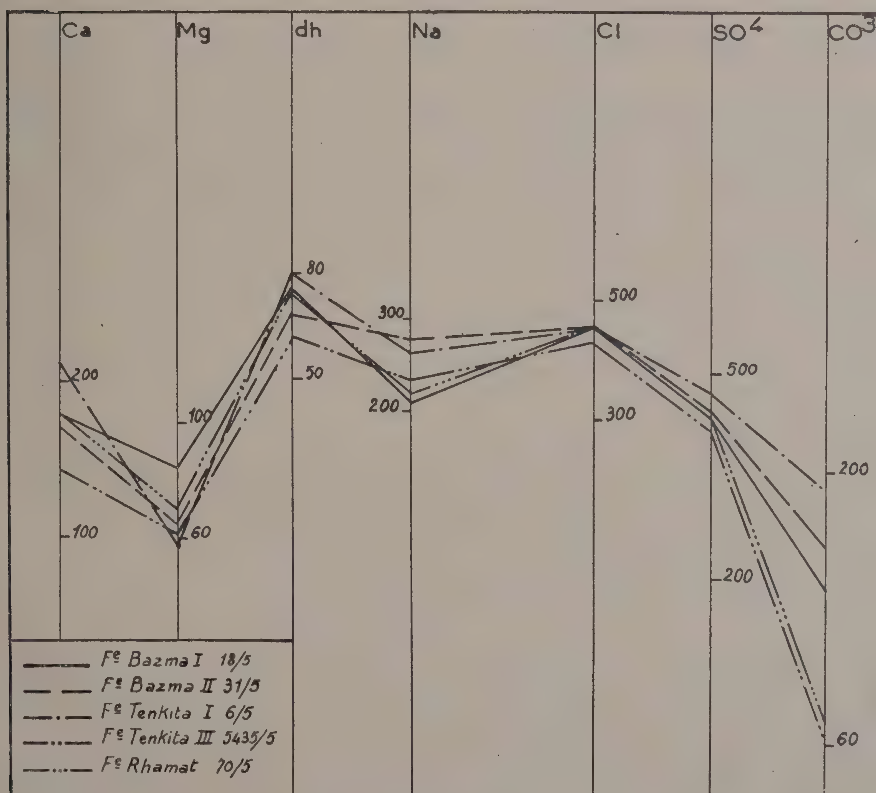


Fig. 30. — Diagrammes logarithmiques des eaux du Nefzaoua.

Températures :

Aux sources	: maxima	24° à Telmine ; 24°3 à Mansoura
	minimum	19° à Tembib et El Faouar
Forages	: maxima	27°4 à Negga III (profondeur 165 m.)
		27° à Tembib I (profondeur 82 m.)
		26°8 à Tombar
		26°7 à Guettaia
	minima	21°5 A Tenkita III
		22° à Douz.

Les maxima sont groupés dans la région de Negga - Tombar - Telmine ; les minima, dans la région de Douz - Tenkita.

La relation entre la profondeur du substratum et la température, pour n'être pas très sensible, existe néanmoins.

Les températures les plus basses correspondent aux zones les moins chargées de la région de Douz.

PROFONDEUR DU SUBSTRATUM CAMPANIEN

Il s'agit, en général, de la profondeur du calcaire aquifère, sans distinguer d'horizon géologique, car nous ne sommes pas en présence d'une formation continue mais d'un ensemble érodé. Néanmoins, l'établissement d'une carte, en courbes, dressée d'après la coupe des forages, donne une image assez claire de l'allure du Campanien. Le substratum est plus profond dans la région du Chott (105 m. à Guettaïa), que dans la région de Tenkita où il est minimum (56 m.). Il est donc à pente EW. Cette pente n'est pas régulière ; très faible sur le parallèle Blidet-Djemma où elle est en moyenne de 2,50 m. par kilomètre, elle augmente vers le Sud et vers le Nord. Les courbes se resserrent sur le parallèle Nouil-Galaa où la pente est de 3,08 m. par km. pour atteindre 9,25 m. par km. aux Adharas.

La région de Kebili ne s'inscrit pas dans les courbes générales, elle forme un piton tabulaire, respecté par l'érosion anté-miocène, où le substratum est atteint aux environs de 30-40 mètres. La carte (pl. VII, hors-texte) comporte des couches intermédiaires hypothétiques. Leur valeur a été mise en évidence lors des récents forages effectués dans le Nefzaoua.

EXTENSION DE LA NAPPE. — La nappe du Nefzaoua pourrait être la terminaison présaharienne du Campanien venant du Sud, dont le débouché principal serait à Douz. Elle serait limitée au Nord par la chaîne du Tebaga, contre laquelle le Campanien butte par faille sous le recouvrement miocène, la barre turonienne formant un seuil qui maintiendrait la nappe en charge, conservant l'artésianisme ; à l'Est, par la topographie, le Campanien affleurant au-dessus du niveau statique ; à

l'Ouest, l'écoulement est possible sous le chott Djerid ; il est certain par la rive Sud de ce dernier. La nappe du Nefzaoua serait donc la nappe-mère de la nappe du Djerid.

NAPPE TURONIENNE

Jusqu'à ces dernières années, la nappe turonienne avait été confondue avec la nappe campanienne. Cette confusion était logique puisque l'on considérait alors que la première crête (crête Sud) du Tebaga était constituée par le Campanien. Nos travaux (1947) ont montré qu'elle était turonienne. La composition chimique des eaux, nettement différente de celle du Campanien, confirme cette attribution. La nappe turonienne est connue par les sources qui s'échelonnent du pied de la crête entre Aïn Brimba, la plus orientale, et Aïn el Ksir, la plus occidentale. Cinq forages y ont été effectués.

Niveau statique. — Nos renseignements sont peu nombreux, en l'absence du nivellement de terrain et de plan d'eau

Le seul *forage* (Taouerrha I) qui pourrait donner un renseignement, est douteux quant à sa situation. On ne peut déterminer si le substratum est campanien ou turonien. Son niveau statique est de 28,95 m., assez en accord avec ce que nous verrons plus loin.

Aux *sources* les niveaux statiques sont les suivants :

Aïn el Ksir.................	24,20 m.
Aïn Chaba	30,53 m.
Aïn Tercha	31,63 m.
Aïn Djedida	37,35 m.
Aïn Brimba	49 m. environ.

Il apparaît que le niveau statique est maximum à l'Est avec 49 m. et décroît vers l'Ouest, où il est de l'ordre de 24 m. Cette décroissance correspond à l'ennoyage du Tebaga sous le chott Djerid.

Composition chimique : *Résidus secs.* — Les eaux turoniennes sont les plus chargées du Nefzaoua : 3.980 mg.-l. à Brimba (maximum), et 2.240 mg.-l. au forage d'El Golea (Glia).

En conséquence, les diagrammes logarithmiques sont décalés vers le haut, par rapport aux eaux campaniennes. Ils sont en outre caractérisés par leur forme. Le type est celui d'Aïn Brimba.

Température. — De l'ordre de 25°-26°.

Débits. — La nappe est susceptible de donner de forts débits, comme c'est le cas à A. Taouerrha (50 à 90 l.-s.), lorsque le calcaire turonien est fissuré.

COMPARAISON AVEC LES NAPPES D'AUTRES RÉGIONS. — La composition chimique des eaux turoniennes de Kebili est analogue, à la concentration près, aux eaux de la nappe de Gabes-Mareth, eaux qu'on considérait autrefois comme campaniennes et que nos études récentes ont montré être turoniennes.

On peut admettre que les eaux turoniennes du Nefzaoua proviennent de la nappe qui est exploitée à Gabes-Mareth.

Les conditions géologiques ne s'opposent pas à cette conception qui s'étaie sur l'analogie de composition chimique et les rapports entre les niveaux statiques.

CHAPITRE III

HYDROLOGIE de la NAPPE de GABES

Le système artésien de Gabes s'étend le long de la zone littorale comprise à l'Est du massif des Matmatas sur 50 km. Les points extrêmes connus sont l'oued el Akarit au Nord, la région d'Aram au Sud. Le système émerge naturellement par un grand nombre de sources. Il est exploité par forages, groupés principalement autour de Gabes - Rhennouche - Metouïa - Oudref, c'est-à-dire vers le Centre et le Nord de la nappe (pl. VIII, hors-texte).

LES TERRAINS

Les strates sont subhorizontales, les coupes naturelles inexistantes. Les forages ont montré un recouvrement miocène sur un substratum calcaire, qui jusqu'ici avait été attribué au Campanien. Les forages profonds de ces dernières années ont montré que l'on avait généralement le Turonien, et parfois le Campanien. Ce dernier étage ne joue qu'un rôle secondaire dans l'hydrologie : la nappe est d'origine turonienne.

Plio-quaternaire. — Limons, croûtes de gypse, conglomérats d'oued, éboulis, constituent le Quaternaire de la zone bordière des Matmatas, tandis que la zone littorale comprend des sols de sebkras.

Miocène. — On considère logiquement comme miocène, bien qu'il n'ait pas encore été caractérisé par la paléontologie, le complexe argilo-sableux puissant de 100 à 200 m. subordonné au Plio-Quaternaire et reposant sur le substratum crétacé. Le Miocène comprend des sables argileux, des marnes jaunes, gris-clair, parfois blanches, avec un certain nombre de niveaux presqu'entièrement constitués par un dépôt calcaire qu'il est coutumier de désigner par les termes de *tuf* ou *travertin*. Certaines couches sont conglomératiques. Les phases sableuses existent en petits bancs intercalés dans les marnes dans la région au Sud de Gabes. Au Nord, les termes supérieurs sont argileux et la base sableuse (Rhennouche - Metouïa - Aouinet - Oudref).

Campanien. — Le Campanien n'a été rencontré qu'au forage de Zarkine I et I bis et seulement sur une partie de son épaisseur (52,40 m.).

SÉNONIEN INFÉRIEUR. — Traversé par les forages de Zarkine I et I bis, de Sedria, Zarat, Aram, le Sénonien inférieur est constitué par une série de marnes grises et de marno-calcaires gris, puissante de 377 m. à Zarkine I bis, 246 m. et plus à Sedria, 366 m. à Aram, 311 m. à Zarat.

TURONIEN. — Le Turonien est connu sur la bordure Ouest de la zone littorale, où il forme les falaises du Dahar et au djebel ed Dissa (au Nord de Gabes) qui est le prolongement des Matmatas. Plusieurs forages l'ont recoupé à Rhennouche, Bou Chemma, Gabes, Teboulbou, Kettena, Zarkine, Aram, Zarat. Il est formé par des calcaires cristallins souvent fissurés, puissants de 50 à 70 m. A Zarkine I bis, le Turonien calcaire n'a pas été rencontré. Sous le Sénonien inférieur vient une série calcaire et marneuse où les intercalations d'anhydrite sont nombreuses. Ce faciès à anhydrite a été traversé sur 150 m. et il est probable qu'il intéresse également le Cénomanien.

STRUCTURE

J. ARCHAMBAULT a pressenti, dès 1946, dans la région de Zarkine - Zarat l'existence d'une série de panneaux décrochés par des failles, expliquant les émergences subthermales observées dans ces régions.

Les prospections géophysiques ont étayé cette hypothèse qui est maintenant confirmée par l'exécution de forages, au moins pour la région Sud. La structure est plus complexe au Sud qu'au Nord. Sur le parallèle de Mareth, on relève la trace de six failles sensiblement parallèles, qui ont pour effet d'affaisser le Turonien des Matmatas (alt. 300 m.) à — 500 m. au forage de Zarat, soit un rejet total de 800 m.

A Zarkine, deux failles sont décelées : la première entre les Matmatas et le forage de Zarkine II (rejet : 380 m.) ; la seconde entre le forage de Zarkine II et les forages de Zarkine I et I bis (rejet de l'ordre de 400 m.). Le rejet total est donc du même ordre qu'à Mareth.

Au Nord de Gabes, la zone des failles n'est pas certaine. On constate l'ennoyage du flanc Est du djebel ed Dissa dont le calcaire turonien a été retrouvé à —105 m. au forage de Rhennouche.

LES POINTS D'EAUX

EMERGENCES NATURELLES

La nappe de Gabes émerge naturellement par un assez grand nombre de sources.

Les plus septentrionales sont les quatre émergences principales qui donnent naissance à l'oued Akarit. L'oasis d'Oudref a été alimentée à l'origine par les sources Aïn el Haneche et Aïn Oudref. A l'Est des émergences d'Oudref, la région d'Aouinet est parsemée de petites sources, dont le débit est d'ailleurs très faible. Beaucoup sont taries actuellement. A Metouia, une source principale est à l'origine de la palmeraie.

On compte trois sources à Rhennouche.

L'oued Gabes doit son débit aux deux groupes de sources du Rass el Aïoun.

Aïn Mteurch et Aïn Zerig sont au Sud de Gabes.

Plus au S on connaît les sources d'El Mdou, de Teboulbou, Aïn Mersitt, Aïn el Frass, les sources de l'oued el Ferd, de Kettena, Zrig, Berrania, ainsi que le groupe des sources de Zarkine (quatorze sources inventoriées). Au total on compte une trentaine de sources réparties plus ou moins régulièrement entre les oasis de Mareth et de Kettena, en grande partie à l'Ouest de la G.P. 1 (route de Gabes à Medenine).

A Mareth même, les sources deviennent rares ; elles sont pratiquement inexistantes à l'Ouest de la G.P. 1 où le terrain est à une cote plus élevée que le niveau de la nappe. On a pourtant connu naguère l'Aïn el Kelb, dans une petite dépression. La source du village de Mareth à l'altitude de 52 m. donne 1 litre-seconde.

A 5 km. à l'Est de Mareth, la source de Zarat est remarquable par son débit (5 litres-seconde) et par sa température (36°4) plus élevée de 9° que la moyenne des températures des autres points d'eau.

Trois kilomètres au Nord de la source de Zarat, le puits de Novarmor, bien qu'artificiel, présente les caractères d'une source thermale, sa température étant de 38°.

Au Sud de Mareth, on connaît la source d'Aram et le groupe des sources d'Aïn el Mjirda, Aïn el Haouari, Aïn es Zeuss. Ces trois dernières se trouvent dans des conditions d'émergence différentes. Le manteau miocène y est peu épais, le substratum est cénomanien, pourtant l'eau est indubitablement celle de la nappe de Gabes - Mareth. (Voir plus loin : composition chimique).

Mode d'émergence. — Le mécanisme d'affleurement de la nappe n'est pas encore éclairci. En certains points privilégiés, l'eau se fraie un passage à travers le Miocène imperméable, selon un processus que l'on peut comparer à celui des émergences du Nefzaoua, pour lequel R. Bousquet (cité par Archambault) suppose qu'il s'agit de cheminées par où l'eau des calcaires jaillissait au milieu de vases pontiennes.

Il semble prouvé, en outre, que les failles jouent un rôle important dans l'ascension de la nappe. Il est indubitable que les sources subthermales de Zarat - Novarmor sont des émergences de failles.

LES FORAGES

Depuis le premier puits artésien d'Oudref, exécuté en 1894-1895, une soixantaine de puits ont été forés dans la nappe de Gabes. Groupés primitivement aux environs des points d'eau, ils ont permis l'extension des palmeraies existantes. Les régions les plus exploitées sont celles d'oued Melah, Oudref, Metouïa, Rhennouche. La plupart des anciens forages, se sont détériorés et ont été rebouchés.

LA NAPPE

NIVEAUX STATIQUES

Le fait frappant est la décroissance relativement régulière du niveau statique du Sud au Nord. Au Sud, les forages de Sedria, Mareth, Aram montrent :

1894/5 — Sedria	60 m.	1557/5 — Mareth IV	57,97 m.
63/5 — Mareth I......	62,80 m.	1515/5 — Mareth V	56,94 m.
5522/5 — Zarat II	53,77 m.	5521/5 — Aram	54,58 m.

Dans la région de Zarkine on observe :

1686/5 — Novarmor	56,52 m.
5336/5 — Zarkine II	55,32 m.

A Kettena, on relève 56,53 m. (5547/5 Kettena IV) et 57,96 m. (Kettena V).

A Gabes, le niveau statique de l'Aïn Zerig (5277/5) est à 29,40 m., tandis qu'il est de 40,85 au forage 1499/5 (Sidi Boulbaba), cette différence de 10 m. ne pouvant s'expliquer que par des pertes de charges anormales. En effet, à Bou Chemma (5 km. au Nord de Gabes) le niveau est à 37,65 m. au forage 2947/5 et 38/74 m. au 5515/5, forage de Rhennouche.

Dans la région de Metouïa - Oudref - Oued Melah, le niveau statique se maintient entre 27 m. et 29,90 m.

En résumé, le niveau statique est de l'ordre de : 55-60 m. au Sud et 30 m. au Nord du système[1].

Sur une distance de l'ordre de 50 km., les pertes de charge sont donc de l'ordre de 30 m., soit 0,60 m. par km. En supposant cette décroissance régulière, le niveau statique serait de l'ordre de 20 m. à l'oued Akarit, 15 km. au Nord des derniers points reconnus, où la Direction des Travaux

1. — Le forage de l'oued Nekkar, dans le Cénomanien - à la latitude d'Aram - montre un niveau statique du même ordre, soit 54 m.

Publics avait projeté un forage de reconnaissance (qui n'a pu être réalisé par suite de l'opposition des habitants).

Sur toute l'étendue de la nappe on ne connaît pas d'émergences naturelles dont le plan d'eau soit à plus de 52 m.

DEBITS AU SOL

Aux émergences naturelles, les débits sont faibles. Par exemple la source d'Aram débite 5 litres-minute. Les émergences importantes, dont le débit se chiffre en litre-seconde sont exceptionnelles (Aïn Oudref, Source Thermale de Zarat, Aïn Kettena, Source de l'oued Gabes).

Les forages donnent en général de forts débits, à quelques exceptions près, lorsque les conditions d'artésianisme (au moins 10 m.) ont pu être respectées, surtout dans les zones, où le Turonien a pu être atteint et exploité :

5522/5 — Zarat II	137 l.-s.	5336/5 — Zarkine II	148 l.-s.
5521/5 — Aram	93 l.-s.	95/5 — Kettena	132 l.-s.
5515/5 — Rhennouche	145 l.-s.	5547/5 — Kettena IV	110 l.-s.

Dans la zone Nord, où la nappe est captée dans les sables de base du Miocène, les débits sont moins importants, d'autant plus que les conditions d'implantation ne permettent généralement pas d'obtenir un artésianisme suffisant :

5643/5 — Oudref	13,5 l.-s.
5261/5 — Oudref	5,5 l.-s.
5269/5 — Oued Melah	40 l.-s.

Au total les forages ont une possibilité de 1.500 litres-seconde. Ils sont actuellement exploités à environ 1.000 litres-seconde. Les émergences naturelles donnent un débit total apparent qu'on peut évaluer à une trentaine de litres par seconde. Il faut y ajouter l'oued Gabes dont le débit est de 200 à 300 litres-seconde.

CAPACITES SPECIFIQUES

Turonien. — Dans les calcaires, où la fissuration est le facteur primordial, les capacités spécifiques sont variables. L'exemple des forages de Kettena est édifiant : Kettena II, où les calcaires sont compacts, a un débit spécifique de 0,4 l.-s./m., tandis qu'à Kettena III, situé à 2 km. à l'W du précédent, le débit spécifique moyen est de 4,7 l.-s./m. Les plus forts débits spécifiques moyens dans le calcaire turonien sont :

5522/5 — Zarat II...	6,17 l.-s./m.	5522/5 — Zarat II....	6,17 l.-s./m.
5547/5 — Kettena IV.	6,39 l.-s./m.	5521/5 — Aram	10,56 l.s./m.
5774/4 — Kettena V..	6,25 l.-s./m.		
5336/5 — Zarkine II..	8 l.-s./m.	5515/5 — Rhennouche	25 l.-s.-m.

CAMPANIEN. — Le calcaire campanien, touché à Zarkine I et 1 bis, est très peu fissuré ; le débit sécifique est faible.

MIOCÈNE. — *Sables de base :* Des débits spécifiques intéressants sont relevés à Oudref :

Forage 5693/5 .... 5,64 l.-s./m.
Forage 5261/5 .... 3,4 l.-s./m.
Forage 5595/5 .... 3,63 l.-s./m.

et à l'oued Melah, nouveau forage (5264/5), où la capacité spécifique atteint 9 l.-s./m.

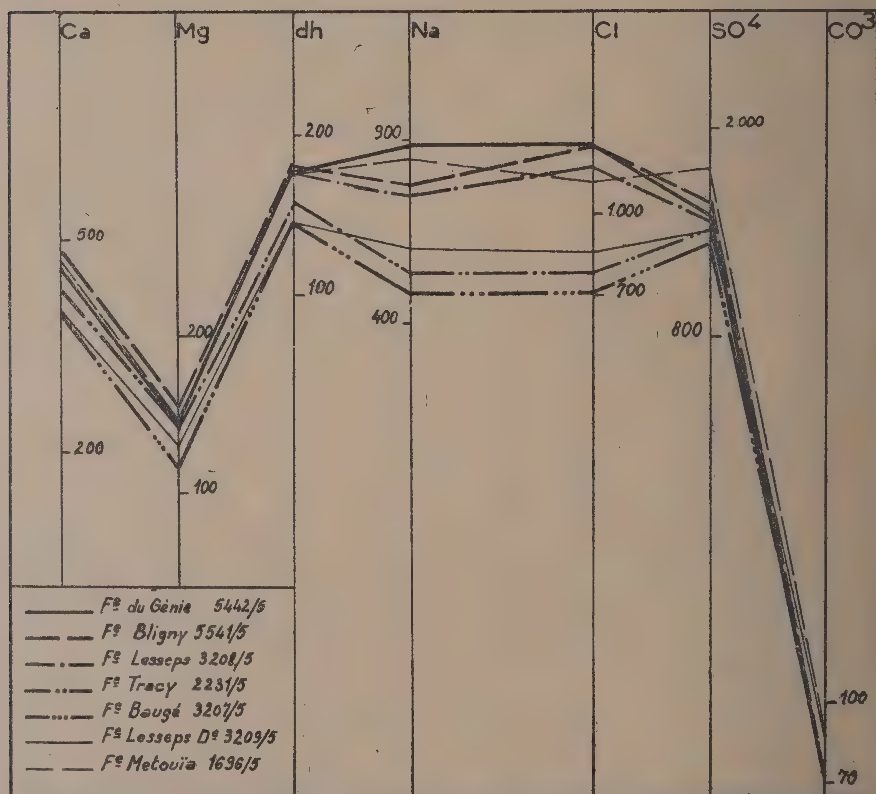


Fig. 31. — DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE DE GABES.

COMPOSITION CHIMIQUE

Elle est remarquablement homogène dans l'ensemble, qu'il s'agisse de sources ou de forages. La proportion des ions en réaction est sensiblement égale dans tous les cas. La traduction de la composition chimique en diagrammes logarithmiques fait ressortir cette régularité, les différences portant sur la concentration.

On constate pourtant une modification dans le secteur Nord, où les eaux d'Oudref, Metouïa, Aouinets, oued Melah, captées dans les sables miocènes, évoluent légèrement vers un type différent, celui des eaux infra-crétacées du chott Fedjedj. L'exemple type du diagramme est celui des eaux indubitablement turoniennes de Zarat II (5522/5) et Aram (5521/5) au Sud et Rhennouche (1515/5) au Nord (fig. 31, 32 et 33).

Les anomalies relevées concernent les points d'eau suivants :

Forage de Zarat I (13/5) qui se trouve situé dans le Miocène d'un compartiment tectonique distinct.

Source de Zarat, sub-thermale, légèrement différente.

Oued Nekkar (1600/5) : différence portant sur la teneur en Mg, tout en restant près du type.

Bou Chemma 181/5 : anomalie de degré hydrotimétrique.

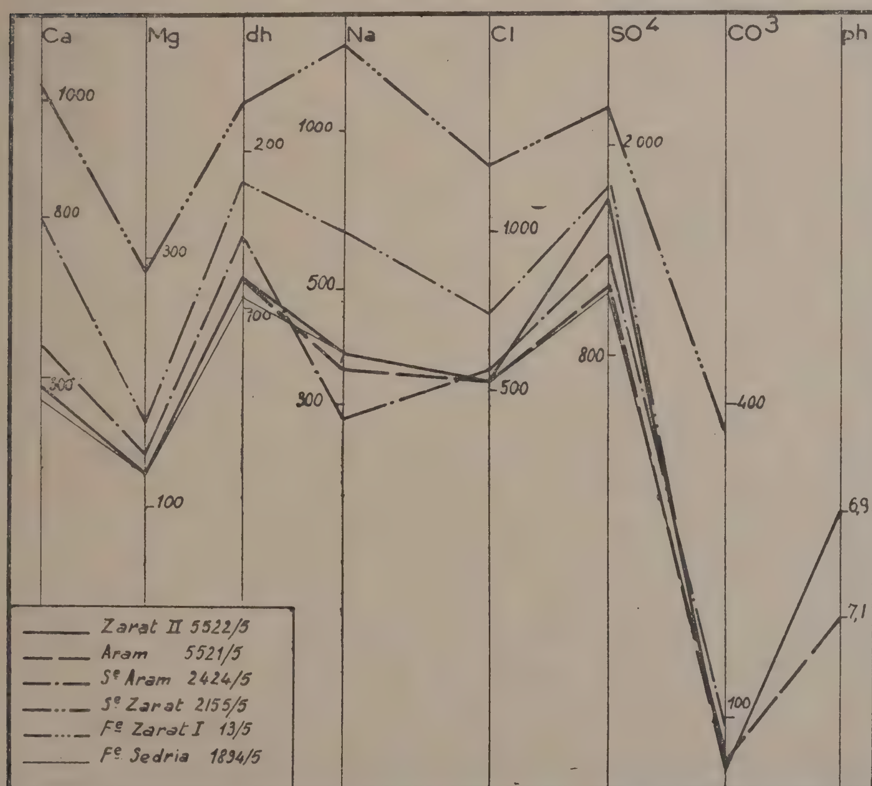


Fig. 32. — Diagrammes logarithmiques des eaux de la nappe de Gabes.

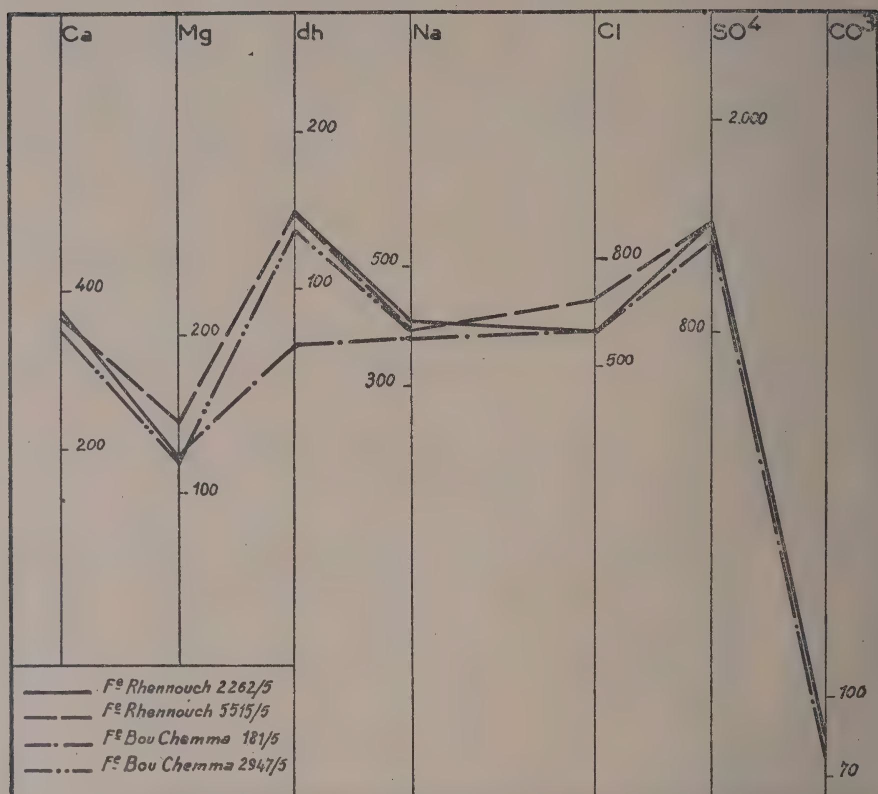


Fig. 33. — Diagrammes logarithmiques des eaux des forages de Rhennouche et Bou-Chemma.

Pour le secteur situé au Nord de Rhennouche (captage dans les sables miocènes) on peut faire les observations suivantes (fig. 33, p. 126).

Parenté des eaux d'Oudref et de l'oued Akarit.

Diagramme différent au forage 5442/5 (forage du Génie).

Diagramme proche de 5442/5 aux forages d'Aouinets 3208/5 (Lesseps), 5541/5 (Bligny) et forages de Metouïa, qui sont semblables entre eux.

Diagrammes intermédiaires entre le type turonien franc (Rhennouche-Aram) et le type forage du Génie (5542/5) : forage Tracy (2231/5, forage Baugé (3207/5), forage domaine de Lesseps (3209/5).

Les analyses chimiques démontrent l'unité de la nappe d'origine turonienne, qu'il s'agisse des sources ou des forages. C'est seulement dans la région d'Oudref - Metouïa, où le cœur infra-crétacé du dôme dont le djebel ed Dissa est le témoin affleurant, que les eaux subissent l'influence des sédiments albiens et wealdiens.

RESIDUS SECS

En moyenne, sources et forages de la zone moyenne du système, entre Rhennouche et Aram, donnent des résidus secs compris entre 2.220 mg.-l. (source de Mareth, 312/5) et 2.500 mg.-l. (forage de Novarmor, 1686/5). Au Sud du système, l'émergence naturelle de Aïn es Zeuss (2159/5) conforme au type des eaux de la nappe donne le plus faible résidu sec : 1.810 mg.-l. Les sources voisines (Aïn Mjirda et el Haouari) émergeant dans le Quaternaire, plus chargées, donnent respectivement 4.782 mg.-l. et 3.210 mg.-l.

N°	DÉSIGNATION DE L'ÉCHANTILLON	Teneur en milligrammes par litre								
		Ca	Mg	Na	Cl	SO_4	CO_3	P.H.	D° H.	R. S.
5442/5	Génie	446	138	874	1349	1360	69	7,3	164	4000
5541/5	Bligny (Aouinets)..	490	143	736	1349	1409	72	7	177	1409
3208/5	Lesseps (Aouinets).	461	143	690	1209	1318	72	7,2	170	3960
2231/5	Tracy	403	134	506	781	1277	72	6,9	152	3260
3207 5	Baugé	374	112	460	710	1178	72	7,3	136	3020
3209/5	Puits nouveau Lesseps	360	121	552	852	1285	81	7,4	137	3340
2227/5	Metouïa n° 8......									
1696/5	Metouïa	471	133	811	1161	1658	84		168	4345
2262/5	Rhennouche	372	119	391	580	1261	78		139	3030
5515/5	Rhennouche	353	130	383	661	1293	81	6,8	138	2880
2947/5	Bou Chemma II....	340	116	368	568	1192	75		130	2737
4800/5	Bou Chemma IV..									
1894/5	Sedria (Mareth II).	272	114	378	525	1097	81		112	2473
13/5	Zarat I	1080	290	1435	1313	2325	358		246	6662
5522/5	Zarat II	279	106	345	490	995	80	7,3	111	2430
2424/5	Source d'Aram....	342	126	288	520	1023	87		134	2460
2155/5	Source de Zarat....	800	191	627	688	1617	75		178	4160
181/5	Bou Chemma III..	357	120	367	580	1193	78		78	2710

Au Nord du système on relève :

Forage Oudref (5261/5) .... 6.435 mg.-l.

Forage du Génie (5442/5) .... 4.300 mg.-l.

Les autres forages (Oudref, oued Melah, Metouïa, Aouinets) donnent également des résidus secs assez élevés, compris entre 2.954 mg. et 4.000 mg.l. Le plus faible résidu sec est donné par l'eau cénomanienne du forage de Zarat I (13/5) avec 6.662 mg.-l., ce dernier étant probablement indépendant du système de Mareth.

On constate donc une augmentation de la concentration du Sud au Nord, augmentation en corrélation avec les modifications de compositions ioniques.

TEMPERATURES

En dehors des cas particuliers des sources subthermales de Zarat (36°) les températures des sources et forages sont de l'ordre de 25°-26°.

Dans les forages profonds, captant la nappe turonienne en place, les températures sont les suivantes :

Sedria (prof. 448 m.) : 28°2 (avant approfondissement).

Zarat II (prof. 505 m.) : 30°5.

L'Aïn Zeuss présente la température la plus basse (18°).

Le forage de Rhennouche (5515/5), bien que profond de 200 m., est à 29°5.

ORIGINE

L'alimentation de la nappe de Gabes pose un problème dont la solution reste à trouver. Du côté Est le domaine marin élimine toute venue d'eau douce. Du côté Sud la nappe est limitée par les affleurements de Jurassique et de Trias des anticlinaux des Tadjera Shrira et Kebira. La chute des niveaux statiques vers le Nord et l'augmentation de la salure indiquent nettement l'écoulement dans cette direction. La seule zone à retenir est donc le secteur Ouest, c'est-à-dire le *massif des Matmatas.* L'origine turonienne et cénomanienne de la nappe est établie. La communication par failles entre les différents panneaux, structure que nous avons exposée, est possible. L'inconnue est la zone d'alimentation lointaine, la surface des affleurements connus de Turonien et de Cénomanien semblant disproportionnée à la quantité d'eau fournie par les hozirons aquifères.

CHAPITRE IV

EXTREME SUD

Nous entendrons par *Extrême-Sud* la zone du territoire tunisien comprise au Sud des nappes de Gabes et du Nefzaoua précédemment étudiées, en y ajoutant les territoires qui furent sous mandat français de 1943 à 1952, la partie de la Tripolitaine comprenant les oasis de Derj et Rhadames [voir 66, 67 et 68].

LES TERRAINS

La série stratigraphique comprend tous les étages allant du Trias inférieur au Crétacé supérieur. Le Miocène et le Quaternaire affleurent aussi.

Trias

Les trois étages de la série classique y sont représentés[1] :

Trias inférieur ou *Grès bigarrés*, constitué par des alternances de grès rougeâtres et de marnes lie-de-vin. Sa puissance au sondage de Medenine est évaluée à plus de 800 m.

Trias moyen ou *Muschelkalk*, formé par des calcaires souvent dolomitiques, jaunes ou roux, parfois blanc-noir, puissant de 100 à 150 m. Il a été daté par des fossiles trouvés dans le djebel Rehach.

Trias supérieur ou *Keuper*, essentiellement gypseux, avec intercalations de calcaires dolomitiques (puissance 200 m.).

Jurassique

De subdivision parfois délicate dans le détail, notamment en ce qui concerne les terrains inférieurs, on reconnaît néanmoins dans le Jurassique les étages classiques :

Lias : Série calcaire de 60 à 70 m. avec intercalations de gypses passant progressivement au Keuper.

1. — Voir cartes hydrologiques au 1/200.000, par A. Robaux et G. Choubert, et le fascicule 7 de la 2e série.

Dogger : complexe d'argiles et sables à Végétaux avec bancs calcaires, épais en moyenne d'une cinquantaine de mètres.

Callovien - Oxfordien : faisceau de bancs calcaires alternant avec des marnes gréseuses et série de marnes plus ou moins sableuses (sables à Végétaux). Puissance de l'ensemble : 60 à 70 mètres.

Séquanien : calcaires et marnes d'une cinquantaine de mètres de puissance.

Kimmeridgien : caractérisé par une dalle de calcaire blanc à Exogyres, puissante de 20 à 30 m. en moyenne, surmontant une série marneuses à *Pteroceras* d'une quarantaine de mètres.

Portlandien : marnes grises avec lits calcaires et gréseux d'une vingtaine de mètres, difficilement séparables de la série wealdienne, sauf à Remada, où le Portlandien est représenté par un faciès de marno-calcaires roux.

CRÉTACÉ

Wealdien : complexe de marnes bariolées avec intercalations de grès et sables, se confondant souvent avec la base de l'étage suivant. Puissance attribuée : 60 à 80 m.

Albien : faciès continental de sables à dragées où sont intercalées des marnes rouges, les marnes prédominant dans les termes supérieurs.

Cénomanien : le Cénomanien est en général constitué par des alternances de calcaires et marnes, avec intercalations d'anhydrite. Sa puissance est sujette à d'importantes variations (100 à 200 m.).

Turonien : dalle calcaire d'une cinquantaine de mètres, constante.

Sénonien inférieur : série en majeure partie marneuse, d'une puissance de 200 à 400 m.

Campanien : calcaires francs et calcaires crayeux de 50 à 100 m. d'épaisseur.

Maestrichtien : Série souvent marneuse de 30 à 50 m. de puissance.

MIOCÈNE

Dans la région littorale de Zarzis-Djerba, Ben Gardane, les argiles avec lentilles sableuses du Miocène atteignent une épaisseur de 400 à 800 m.

QUATERNAIRE

Le détail des formations quaternaires, mal connu d'ailleurs, sortirait du cadre de cette étude. Il suffira de se reporter aux chapitres précédents pour imaginer les faciès du Quaternaire de l'Extrême-Sud, qui, à part un plus grand développement des sables éoliens et des formations gypseuses (surtout dans les zones où le Keuper forme le substratum), sont analogues à ce que nous avons déjà décrit.

STRUCTURE

Dans l'ensemble, la structure de l'Extrême-Sud tunisien est relativement simple : il s'agit d'un vaste dôme à faible rayon de courbure, dont le cœur est situé dans la région de Medenine. Le flanc oriental, probablement effondré sous le domaine marin est inconnu. Le flanc Nord est représenté par les monts des Tadjera ; le flanc oriental et le flanc Sud par la bordure soulevée de la plate-forme saharienne.

REGION DE SIDI TOUI-KIRCHAOU

SIDI TOUI

La région est alimentée par des puits et des émergences naturelles.

Les *puits* sont répartis sur tout le territoire, en particulier dans les vallées appelées *kraoui*. Ils sont creusés soit dans le Quaternaire (alluvions des oueds en général), soit dans le Miocène recouvrant le Trias.

Les *émergences naturelles* sont limitées à une région bien déterminée, à l'Est du massif triasique de Sidi Toui, région qui affecte la forme d'un demi-cercle entourant l'extrémité orientale du djebel. Ces sources possèdent incontestablement des caractères d'artésianisme prononcés. Elles émergent dans les zones basses, généralement des sebkras, parfois au sommet de petites éminences entourées de joncs et de roseaux. Beaucoup présentent un abondant dégagement de bulles d'hydrogène sulfuré (Aïn Oum er Rkhiss) dû, non pas à l'eau elle-même, mais à la réduction des sulfates par des Algues sulfuraires qui se développent dans les bassins.

Aucun *indice visible* ne permet de déterminer quel est l'horizon géologique, qui leur donne naissance *sous* le Quaternaire, mais les affleurements voisins des griffons et leur composition chimique permettent d'affirmer qu'il s'agit du Trias moyen (Muschelkalk) ou des Grès bigarrés.

En outre, un certain nombre de puits sont creusés directement sur le Trias.

NIVEAUX STATIQUES. — Parmi les sources artésiennes, la cote d'émergence la plus élevée est de 43 m. à l'Aïn Rhzela (2415/5), la plus basse de 20 m. à l'Aïn el Kelba (2412/5).

Pour les puits indubitablement triasiques, le plan d'eau du Bir Pyramide 46 (3195/5) est à la cote 17 m., celui du Bir el Magroune (2480/5) à 52 m.

Les cotes de plans d'eau sont donc sans relations entre elles et il est difficile d'en déduire le niveau moyen de la nappe, niveau probablement affecté par des accidents tectoniques.

COMPOSITION CHIMIQUE. — A l'exception des puits du bordj de Sidi Toui (2828/5 et 3468/5), dont les résidus secs sont respectivement 1.020 mg.-l. et 3.810 mg.-l., toutes les eaux sont caractérisées par de fortes concentrations qui varient de 4.332 mg.-l. (Bir Toui, 3582/5) à 9.265 mg.-l. (Hassi Mohamed, 3479/5, source artésienne).

Les diagrammes logarithmiques montrent la parenté entre les points d'eaux ayant pour origine présumée le Trias moyen ou inférieur, qu'ils soient situés au Nord ou au Sud de l'avancée du Muschelkalk de Sidi Toui.

DÉBITS. — Les sources artésiennes ont un faible débit, certaines sont sans écoulement. La plus importante est l'Aïn ed Debbane, cataloguée 100 m³/jour. La nature des grès triasiques n'est pas favorable à de gros débits spécifiques.

REGION DE KIRCHAOU

La sebkra Chemila, 6 km. à l'Est de Kirchaou, montre sur sa bordure de petites sources triasiques (Aïn el Hagfa, 3401/5) de résidu sec acceptable (3.365 à 4.725 mg.-l.). Sur la rive Sud-Est de la sebkra el Maghzene, la source triasique de Kasba es Saboun donne un résidu sec de 18 grammes par litre.

Deux sondages, l'un de 33 m., l'autre de 147 m. ont été tentés en vue de reconnaître les eaux triasiques de cette région : le niveau statique (artésianisme négatif) d'une part, la salure (6 à 7 gr. par litre) d'autre part, ont fait abandonner ces forages.

MEDENINE

Medenine est située au cœur d'une région triasique qui est en relations éloignées avec les massifs triasiques du djebel Rehach et de Sidi Toui. Un forage de 480 m., entièrement dans le Trias, y a été exécuté en

1932-1934 en vue de la recherche d'eau potable pour l'alimentation de la ville. Une nappe importante y a été atteinte, mais le résidu sec de 7.142 mg. par litre rendait l'eau pratiquement inutilisable.

Le puits de Bir bou Harboub qui alimente actuellement la ville, est profond de 27,50 m. Il donne 500 m³ par jour. Le résidu sec est de 1.752 mg. seulement. L'eau est donc excellente, mais, bien que la base du puits soit creusée dans les grès du Trias, l'alimentation se fait par les *alluvions quaternaires* superposées au Trias.

En résumé, le *Trias du cœur du dôme de la Jeffara* ne présente qu'un intérêt restreint au point de vue hydraulique.

REGION DE TATAOUINE-REMADA

De nombreux puits sont creusés dans le Quaternaire alluvial des oueds et donnent des eaux de bonne qualité aux environs de Tataouine. Mais c'est le Jurassique qui est surtout intéressant au point de vue hydraulique. C'est entre Tataouine et Dehibat, soit sur une distance de près de 120 km., que plusieurs points d'eaux intéressent la nappe jurassique. En général, ce sont des puits, exceptionnellement des sources (Aïn Dekouke, Aïn el Haschouch).

Les étages aquifères sont la barre des calcaires kimmeridgiens et les marno-calcaires jaunes de Remada, attribués au Portlandien. Un forage de reconnaissance, effectué en 1951 à Remada, a touché une nappe dans les sables calloviens à 60 m. de profondeur, nappe qui se confond avec celle du Portlandien.

KIMMERIDGIEN. — La dalle kimmeridgienne, dégagée sous la falaise du Dahar à l'Ouest de Tataouine, est exploitée au lieu dit el Ferch par des sondages d'une soixantaine de mètres. Le toit est formé par les argiles bariolées du Wealdien. Elle est artésienne dans les points bas.

Le long de la piste de Bordj Lebœuf à Remada, les puits de Bir Mesreb, Bir Djerger, Bir Noumir, profonds d'une vingtaine de mètres sont creusés à même les calcaires kimmeridgiens. La nappe n'y est pas ascendante. L'Aïn Dekouke, 40 km. au Sud de Tataouine, est une émergence quaternaire très salée (11 grammes), mais des griffons d'eau douce proviennent du Kimmeridgien.

Niveaux statiques. — Ils sont compris entre 265 et 280 m.

Résidus secs. — L'eau franchement kimmeridgienne est relativement peu chargée : 1.650 mg. à Bir Noumir. Généralement, elle est en contact avec les terrains de recouvrement qui lui confèrent une salure de 4.000 à 6.000 mg.

PORTLANDIEN. — Plusieurs sources émergent du Portlandien à la base de la falaise de Remada. Certaines alimentent de petites palmeraies. A el Haschouch (5 km. au Nord de Remada) l'oued Ben Naceur doit sa pérennité à un groupe de sources qui émergent du Quaternaire recouvrant le Portlandien.

Niveau statique. — 285 à 290 m. à Remada ; 265 m. à el Haschouch.

Composition chimique. — Les résidus secs varient entre 2.000 et 2.200 mg.-l. pour les eaux franchement portlandiennes et 5.000 mg. pour les eaux mélangées aux apports phréatiques quaternaires.

Les ressources hydrauliques du Jurassique sont intéressantes localement, mais ne sauraient donner lieu à une exploitation importante. Elles permettent de jalonner de points d'eaux, potables parfois, en tous cas propres à l'alimentation des troupeaux, des régions peu favorisées.

RÉGION SAHARIENNE

La région saharienne formée par le Crétacé supérieur est subtabulaire.

Elle s'étend de l'Ouest de Tataouine, où elle se termine par la falaise du Dahar, à l'Extrême-Sud de la Tunisie, jusqu'à la Hamada el Homra, c'est-à-dire la région de Derj - Rhadames - Fort Saint. Sur la distance Bir Soltane au Nord, Rhadames au Sud, les couches du Crétacé supérieur se suivent sans discontinuité. Leur altitude de 100 m. à Bir Soltane passe à 260 m. à Ksar Rhilane, et à 350 m. à Rhadames. A l'Est, sur la bordure de la falaise du Dahar, l'altitude des couches de tête du Crétacé supérieur serait, si elles n'étaient érodées, de 750-780 m. Vers l'Ouest, elle descend assez rapidement sur 60 km., puis sur 50 km. les couches sont tabulaires, et, enfin, elles disparaissent doucement sous les sables du Grand Erg.

HYDROLOGIE

Un certain nombre de puits sont creusés dans les alluvions sableuses des oueds (Bir Soltane - Djeneïen). Les émergences naturelles s'observent à Derj et surtout à Rhadames, où l'Aïn el Frass, connue depuis l'antiquité, est remarquable.

Sur la Hamada el Homra, à 100 km. au SE de Derj, le Bir Ghazel, profond de 80 m., est creusé dans le Turonien.

Des forages ont été entrepris en 1915 à Bir Pistor où une nappe dans le Crétacé supérieur a été découverte, nappe malheureusement salée.

En 1922, le forage de Fort-Saint bien que non artésien (niveau statique 2 m.) a donné de meilleurs résultats, toujours dans le Crétacé supérieur. En 1935 l'Italie a foré avec succès un puits artésien à Rhadames. En 1939, deux forages ont été tentés à Bordj Lebœuf, et à 40 km. à l'Est de ce fort, dans l'oued Abdallah. Leur but était d'atteindre, sous le Crétacé supérieur, les couches continentales de l'Albien, connues en affleurements, à une atlitude supérieure, tout le long de la falaise du Dahar. Les événements militaires de juin 1940 ont contraint d'abandonner ces travaux.

Le forage de Rhadames, dont le débit avait considérablement baissé, par suite de la détérioration des tubages, a été renouvelé par la France en 1948. Il capte l'eau de la nappe de l'Aïn el Frass, dans le Turonien, vers 375 m. de profondeur. Sitôt terminé le forage de Rhadames, l'appareil a été déplacé à 120 km. à l'Est, sur le plateau de Derj. La nappe de Rhadames a été touchée également dans le Turonien, à —250 m., mais le niveau statique que l'on était en droit d'espérer supérieur à celui de Derj s'est révélé à la même cote, soit 350 m. L'altitude d'implantation, 450 m., a fait que l'artésianisme est négatif et la nappe pratiquement inutilisable. La reconnaissance a été poussée et a permis de recouper les termes supérieurs de l'Albien continental, aquifère, mais sans augmentation de charge.

En 1950, la Direction des Travaux Publics a repris le forage de Bordj Lebœuf et la nappe albienne a été touchée pour la première fois dans le Sud tunisien.

Cette réussite a incité à rechercher la nappe albienne en un point où elle serait artésienne. C'est à Ksar Rhilane que la seconde reconnaissance a été faite, couronnée également de succès.

Nous donnons ci-dessous les résultats principaux de ces forages.

522/2 — *Forage de Rhadames*, exécuté de janvier 1948 à décembre 1949.

Profondeur totale	470 m.
Cote du terrain naturel........	340 m.
Artésianisme	8,17 m.
Niveau statique	348,17 m.
Débit au sol	47 litres/seconde.
Pertes de boues	à —354 m. et —375 m. dans le Turonien
Résidu sec	2.670 mg.-l.

Terrains traversés :

Crétacé supérieur (Campanien - Sénonien inférieur).	Alternances de marnes et de calcaires	309 m.
Turonien et Sénonien	calcaires	94 m.
	marnes	67 m.

5654/5 — *Forage de Bordj Lebœuf*, exécuté de juin 1950 à février 1951

Profondeur totale	498,50 m.
Cote du terrain naturel	330 m. environ
Artésianisme négatif	20,84 m.
Niveau statique	310 m. environ
Débit	133 l.-s. pour 16 m. d'abaissement
Capacité spécifique	8,3 litres-seconde/mètre
Température	26° 7
Résidu sec	2.960 mg.-l.

Terrains traversés : Calcaires, calcaires dolomitiques, intercalations marmarneuses (Turonien, Cénomanien).. 111 m.
Marnes rouges (Albien)................. 176 m.

Niveau capté : Sables grossiers rouges (Albien) .... 98 m.
Marnes et grès à végétaux (Wealdien).. 213 m. 50

5717/5 — *Forage de Ksar Rhilane*, exécuté du 3 avril au 7 décembre 1951

Cote du terrain naturel	684,20 m.
Profondeur totale	200 m. environ
Artésianisme	97,85 m.
Niveau statique	297,85 m.
Débit au sol	166 litres
Débit sécifique moyen	1,7 litre-seconde/mètre
Température	34°
Résidu sec	4.530 mg.-l.

Terrains traversés : Maestrichtien - Campanien (calcaires et marnes) .... 96,50 m.
Sénonien inférieur (marnes grises intercalations calcaires) .... 153,00 m.
Turonien (calcaire) .... 55,00 m.
Cénomanien (calcaires, marnes et anhydrite) .... 324,00 m.
Sables albiens .... 50,00 m.
Marnes rouges (Albien) .... 4,20 m.

Forage de Derj : exécuté de janvier 1950 à avril 1950

Niveau statique	640 m.
Profondeur totale	450 m.
Cote du terrain naturel	110 m.
Artésianisme négatif	340 m.

Les essais de débit et prélèvements d'eau n'ont pu être réalisés.

Terrains traversés :	Sénonien (calcaires et marnes grises)....	254 m.
	Turonien (calcaire)	60 m.
	Cénomanien (calcaires, marnes et anhydrite)	321 m.
	Sables et marnes rouges (Albien)........	5 m.

LES NAPPES

Niveau statique. — L'eau turonienne la plus méridionale est celle du Bir Ghazel, sur la Hamada el Homra. Ce puits est creusé à l'altitude de 550 m. environ, profond de 80 m. ; le plan d'eau est donc à 470 m. environ.

Au sondage de Rhadames, le niveau statique est à 350 m. environ ainsi qu'à Derj, aussi bien pour la nappe du Turonien que pour la nappe de l'Albien.

A Bordj Lebœuf, le niveau statique des calcaires turoniens est sensiblement égal au niveau statique de la nappe albienne : 310 mètres.

A Ksar Rhilane, le niveau statique de la nappe albienne est de 297 m. On constate donc une décroissance du niveau statique du Sud vers le Nord, décroissance remarquablement lente, de l'ordre de 10 mètres pour 100 kilomètres.

Compositions chimiques. — Les résidus secs varient de 2.100 mg.-l. (Aïn Tit à Derj, Bir Ghazel) à 2.540 mg.-l. (Aïn ef Frass, Rhadames), 2.670 mg.-l. (forage de Rhadames) dans la zone où le Turonien est exloité. Ils sont plus forts pour l'eau albienne de Bordj Lebœuf (2960 mg.-l.) et atteignent leur maximum à Ksar Rhilane (4530 mg.-l.).

Les diagrammes des eaux de Derj - Rhadames (Turonien) sont semblables à la concentration près. Les diagrammes des eaux albiennes de Bordj Lebœuf et de Ksar Rhilane sont également semblables entre eux (le dernier plus concentré, étant déplacé vers le haut) mais nettement différents par leur tracé de ceux des eaux du Turonien (fig. 34, p. 138).

Les eaux de l'Albien et du Turonien sont ainsi nettement individualisées par leur composition chimique, mais elles semblent en relations hydrostatiques.

On retrouvera le tracé des diagrammes logarithmiques du Turonien dans les nappes de Gabes - Mareth, et dans la nappe turonienne de Kebili, ce qui est un argument en faveur de l'extension vers le Nord de ces nappes. De même, l'unité de la nappe albienne est probable de la région saharienne à celle du dôme du Fedjedj.

Quant à la nappe du Crétacé supérieur (Campanien) elle est mal connue dans la région saharienne proprement dite, qui constitue la zone d'alimentation. Ses caractéristiques ne sont nettes que dans le Nefzaoua, qui nous l'avons vu, en est l'exutoire.

BIRH	POINTS D'EAU	Ca	Mg	Na	Cl	SO4	CO3	D° H.	R. S.
522/5	Rhadames (forage)......	318	136	288	426	1149	120	132°	2670
5654/5	Bordj Lebœuf (forage)..	331	123	472	1065	758	87	130°	2960
5717/5	Ksar Rhilane (forage)..	462	235	782	1491	1456	96	207°	4530
270/4	Aïn Tit (Derj)..........	237	114	219	355	861	138	104°	2100
	Aïn el Frass (Rhadames)	309	142	299	408	1187	132	133°	2540
	Bir Ghazel (Hamada)....	278	109	230	320	949	146	112°	2100

ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DE L'EXTRÊME-SUD

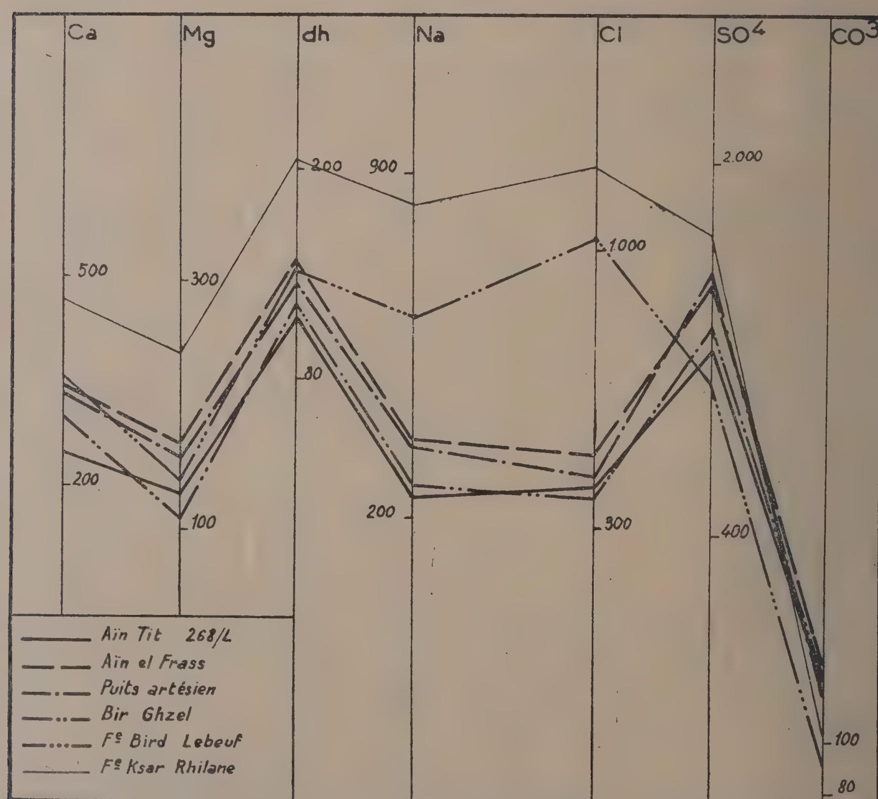


Fig. 34. — DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES DES EAUX DE L'EXTREME-SUD.

BIBLIOGRAPHIE

La liste bibliographique ci-dessous ne comprend que les travaux spécialisés cités dans le texte. Dans l'étude, les renvois aux ouvrages cités sont indiqués au moyen du numéro d'ordre qui leur est affecté et placé entre crochets.

Les numéros 1 à 87 se rapportent à la liste bibliographique annexée au fascicule N° 1, les numéros 88 à 122 à celle du fascicule N° 2.

1. — Ouvrages a consulter donnant une bibliographie détaillée

J. Archambault. — Hydrogéologie tunisienne. *Ann. Mines et Géologie*, N° 1, Tunis, 1947.

G. Castany. — Les fossés d'effondrement de Tunisie. Géologie et Hydrologie. *Ann. Mines et Géologie*, N° 3, Tunis, 1948.

R. Degallier. — La nappe miocène de Tunisie centrale. *Ann. Mines et Géologie*, N° 11, Tunis, 1952.

2. — Liste des ouvrages cités

123. Archambault J. — Observations hydrogéologiques dans le centre tunisien. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1941.

124. Archambault J. — Géologie et hydrogéologie du djebel Mrhila. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1943.

125. Archambault J. — Le problème des eaux souterraines en Tunisie. *Cahiers Charles de Foucauld*, vol. 18, 1950.

126. Azzouz. — Etude hydrogéologique provisoire de la plaine de Feriana. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1950.

127. Berkaloff E. — Etude hydrogéologique du Bled Segui. *Arch. Direction Trav. Publics Tunisie*, 1936.

128. Berkaloff E. — Etude hydrogéologique de Grombalia, Menzel bou Zelfa et Soliman. *Arc. Direct. Trav. Publics, Tunisie*, 1931.

129. Berkaloff E. — Etude hydrogéologique de la région de Gafsa et de El Guettar. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1933.

130. BERKALOFF E. — Etude hydrogéologique de la plaine de d'Enfidaville. *Arch. Direct Trav. Publics Tunisie,* 1936.

131. BERKALOFF E. — Etude hydrogéologique de la nappe phréatique de Djebibina. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie,* 1938.

132. BERKALOFF E. — Carte hydrogéologique de la Tunisie au 1/50.000e. Feuille des environs de Gafsa et notice. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie.* 1939.

133. BERKALOFF E. — Notice explicative concernant le diagramme logarithmique de la composition chimique des eaux. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie,* 1938.

134. BERKALOFF E. — Crues du lac Kelbia. Statistiques. Période 1931-1942. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie,* 1942.

135. CASTANY G. — Etude hydrogéologique de la région du Bled er Roua. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie,* 1946.

136. CASTANY G. — Etude hydrogéologique de la région de Madjen Sidi Abbes (Sud de Feriana). *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie,* 1947.

137. CASTANY G. — Applications des méthodes de prospection électrique à un problème particulier en Tunisie : les seuils hydrauliques. *C. R. XVIIIe Congr. géol. intern., Londres,* 1948.

138. CASTANY G. — Etude de la surface libre des nappes par les cartes en courbes isopiézométriques. Ecoulement, alimentation et seuils hydrauliques. *Union Géol. et géophys. Intern. Congrès d'Oslo,* pp. 66-76, 1948.

139. CASTANY G. — Un barrage souterrain naturel. Les sources de Gafsa-Lalla. *Bull. Econ. et Soc. de la Tunisie,* octobre 1950.

140. CASTANY G. et J. J. BREUSSE. — Les seuils hydrauliques de Tunisie. Etudes géologique, géophysique et hydrologique. Le seuil de Gafsa. *Ann. Mines et Géologie,* N° 6, Tunis, 1951.

141. CASTANY G. — Les ressources hydrauliques de la région de Kasserine. Plaine et falaise. *Bull. Econ. et Soc. de la Tunisie,* N° 53, pp. 25-58, 1951.

142. CASTANY G. et DOMERGUE CH. — Le problème des chotts tunisiens. *C. R. somm. Soc. géol. Fr.,* pp. 166-167, 1947.

143. CASTANY G. et DOMERGUE CH. — Les ressources hydrauliques du Sud Tunisien. Djerid et Nefzaoua. *Bull. Econ. et Soc. de la Tunisie,* N° 56, pp. 30-49, 1951.

144. DECROCQ J. — Le système hydraulique du Labeïed. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie,* 1941.

145. DECROCQ J. — Etude hydrogéologique de la falaise d'Hadjeb el Aïoun. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie,* 1942.

146. DÉGALLIER R. — Hydrogéologie de la nappe de Sbiba. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie,* 1942.

147. DÉGALLIER R. — La nappe miocène de Tunisie centrale. *Ann. Mines et Géologie*, N° 11, Tunis, 1952.

148. DÉGALLIER R. et AZZOUZ. — Hydrogéologie de la région de Sbeïtla. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1948.

149. DÉGALLIER R. et AZZOUZ. — Etude hydrogéologique du synclinal des Ouled Moussa. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1951.

150. DOMERGUE CH. — Etude des conditions d'implantation de forages dans le Djerid. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie.*

151. DOMERGUE CH. — Notes sur l'implantation des forages de Rherdgaia et Neflaiet. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie.*

152. DOMERGUE CH. — Note sur les possibilités d'implantation de forages dans le Draa el Djerid. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1949.

153. DOMERGUE CH. — Note sur l'extension de la nappe du Djerid vers l'Ouest. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1951.

154. DOMERGUE CH. — Nouvelles propositions de forages dans le Djerid. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1951.

155. DOMERGUE CH. — Notes sur l'implantation de forages à Ksar Rhilane et Bordj Lebœuf. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie.* 1951.

156. DOMERGUE CH. — Note sur l'hydrogéologie de la région de Remada. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1951.

157. DOMERGUE CH. — Hydrogéologie de la région d'Aram. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1949.

158. DOMERGUE CH. — Comptes rendus de fin de forage. Rhennouche, Zarat, Aram, Kettena, Zerkine. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1950.

159. DOMERGUE CH. — Note sur l'alimentation en eau de la palmeraie d'El Hamma de Gabes. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie.* 1951.

160. GOSSELIN M. — L'Inventaire des ressources hydrauliques de la Tunisie. *Ann. Ponts et Chaussées.* Sept.-Oct et Nov.-Déc. 1951, pp.513-555 et 665-763.

161. GOSSELIN M. et SCHŒLLER H. — Notice générale de la carte hydrogéologique de la Tunisie au 1/50.000e. Bordeaux, 1942.

162. LIGNERIS X. DES. — Note sur l'implantation de sondages dans le Nord de la plaine de Kairouan. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1942.

163. — PENET P. — L'hydraulique agricole dans la Tunisie méridionale. *Tunisie*, 1942.

164. ROUMIGUIÈRES A. et UGUET D. — Etudes hydrogéologiques et cartes dans la région de Kasserine. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie* 1942.

165. SCHŒLLER H. — Sur la concentration des sels dissous dans les eaux souterraines. *C. R. Congrès d'Erfoud du Com. Etudes Eaux souter., Rabat*, p. 46-54, 1935.

166. SCHŒLLER H. — Utilité de la notion des échanges de bases pour la comparaison des eaux souterraines. *Bull. Soc. géol. France* (5), V, pp. 651-657, 1935.

167. SCHŒLLER H. — Les échanges de bases dans les eaux souterraines vadoses : trois exemples en Tunisie. *Bull. Soc. géol. France* (5), V, pp. 389-420, 1935.

168. SCHŒLLER H. — Etudes hydrogéologiques des environs de Sbeïtla. *Arch. Direct Trav. Publics Tunisie*, 1931-1933.

169. SCHŒLLER H. — Etude hydraulique du Quaternaire aux environs de Sidi bou Zid. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1934.

170. STEPANOFF A. DE. — Introduction à l'étude de la plaine quaternaire de Kairouan. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1935.

171. STROHL R. et DÉGALLIER R. — Etude hydrogéologique de la région de Feriana. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1946.

172. TIERSONNIER. — Etude hydrogéologique des Souassi. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1941.

173. UGUET D. — Etude hydrogéologique du Djebel Selloum (flanc Nord). *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1941.

174. UGUET D. — Etude de la nappe phréatique d'Aïn Nouba. *Arch. Direct. Trav. Publics Tunisie*, 1941.

175. UGUET D. — Compte rendu des sondages de reconnaissance dans la plaine de Kasserine. *Arch. Direct. Trav. Publics*, 1942.

3. — Rapports de la Compagnie Générale de Géophysique

R. sur la prospection géophysique de Grombalia - Menzel bou Zelfa - Soliman. — 1932.

R. sur la prospection géophysique effectuée dans la région de Tozeur - Nefta (Tunisie). — 1932.

R. sur une mission de prospection sismique exécutée dans le Sud tunisien. — Sept.-Mars 1939.

Etude hydrogéologique par prospection électrique du seuil de Gafsa. — 1947.

Etude hydrogéologique par prospection électrique au Nord du seuil de Gafsa. — 1951.

Application de la prospection électrique aux recherches hydrogéologiques dans la région de Fondouk Djedid et de Hadjeb el Aïoun. — 1947.

Prospection électrique à Hadjeb el Aïoun. — 1948.

Etude hydrogéologique par prospection électrique de la région de Sbiba. — 1948.

Etude hydrogéologique par prospection électrique de la région de Sbeïtla. — 1948.

Etude par prospection électrique de la région de Tozeur - Nefta. — 1949.

Prospection électrique de la région de Mareth. — 1948.

Profil électrique Medenine - Zarzis. — 1948.

4. — Cartes hydrogéologiques

Carte hydrogéologique de la Tunisie au 1/50.000^e.

Feuille N° 78. Hadjeb el Aïoun, par H. Schœller.

Feuille N° 84. Kasserine, A. Roumiguières, D. Uguet et G. Castany.

Environs de Gafsa, par E. Berkaloff.

Carte hydrogéologique provisoire au 1/200.000^e.

Feuilles de Zarzis, Foum Tataouine, Dehibat, Mchehed Salah, Sidi Toui, par A. Robaux et G. Choubert.

TABLE DES PLANCHES ET HORS-TEXTE

TABLE DES MATIÈRES

PAGES

PAGES

TROISIÈME PARTIE

LA NAPPE MIOCENE DE LA TUNISIE CENTRALE

par R. DÉGALLIER

QUATRIÈME PARTIE

LES BASSINS ARTESIENS DU SUD TUNISIEN
par CH. DOMERGUE

PAGES

Manuscrit reçu le 21 *mai* 1952

Achevé d'imprimer le 25 *juillet* 1952


SCHEMA TECTONIQUE
SITUATION DES FOSSES D'EFFONDREMENT
Axes anticlinaux
Failles importantes
Fosses d'effondrement reconnues
I_Plaine de Grombalia
II_Fossé périsahélien
III_Cuvette d'Enfidaville
IV_Cuvette de l'Oglet Methnène
V_Chott Djérid
VI_Lac Bizerte
VII_Golfe de Tunis
VIII_Oued Miliane
IX_La Foussana-Kasserine
X_Cuvette de Sidi Bou Zid
XI_Cuvette de Madjen Sidi Abbès
XII_Cuvette de Gafsa
SEUILS HYDRAULIQUES
A_Hadjeb El Aïoun
B_Sbiba
C_Bled Er Roua-Djilma
D_Gafsa
E_Kasserine
F_El Aouareb
H_Sbeitla
CAP BLANC
BIZERTE
I ZEMBRA
CAP BON
GOLFE DE TUNIS
Basse Medjerda
TUNIS
O. Medjerda
O. Miliane
Grombalia
O. Chiba
Enfidaville
Djebibina
GOLFE DE HAMMAMET
SOUSSE
Monastir
KAIROUAN
ALGERIE
Tebessa
Sbiba
Hadjeb el Aïoun
Sbeitla
Kasserine
Sidi Bou Zid
El Djem
SAHEL
SFAX
ILES KERKENNA
Maknassy
Negrine
Gafsa
Metlaoui
CHOTT EL RHARSA
Tozeur
Nefta
CHOTT FEDJEDJ
CHOTT DJERID
Kebili
La Skirra
GOLFE DE GABES
GABES
ILE DJERBA
Matmata
Zarzis
Médenine
PLATE FORME SAHARIENNE

PLANCHE I

CARTE HYDROLOGIQUE DE LA PLAINE DE GROMBALIA

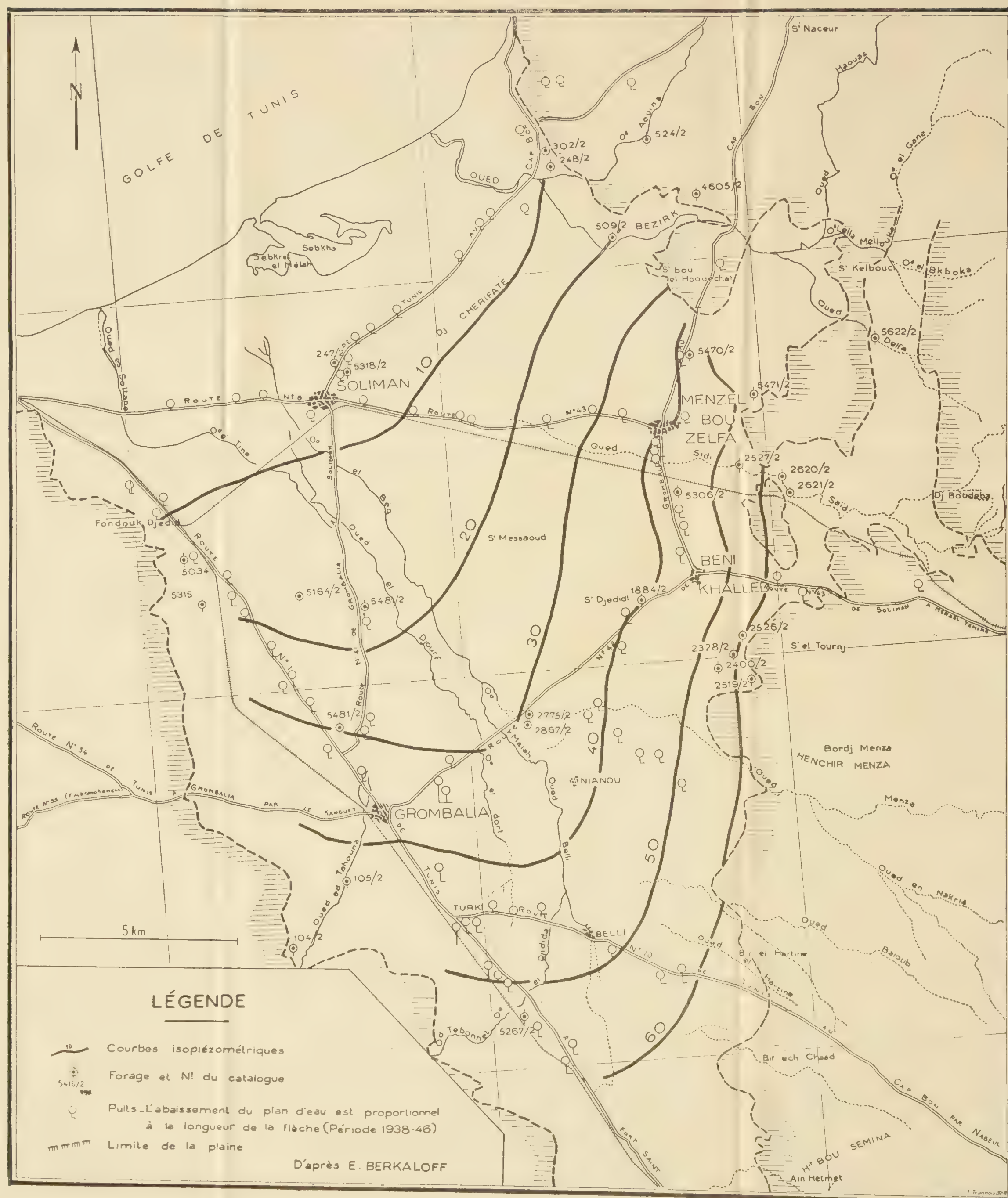


PLANCHE II

CARTE HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION DE DJEBIBINA - EL ALEM

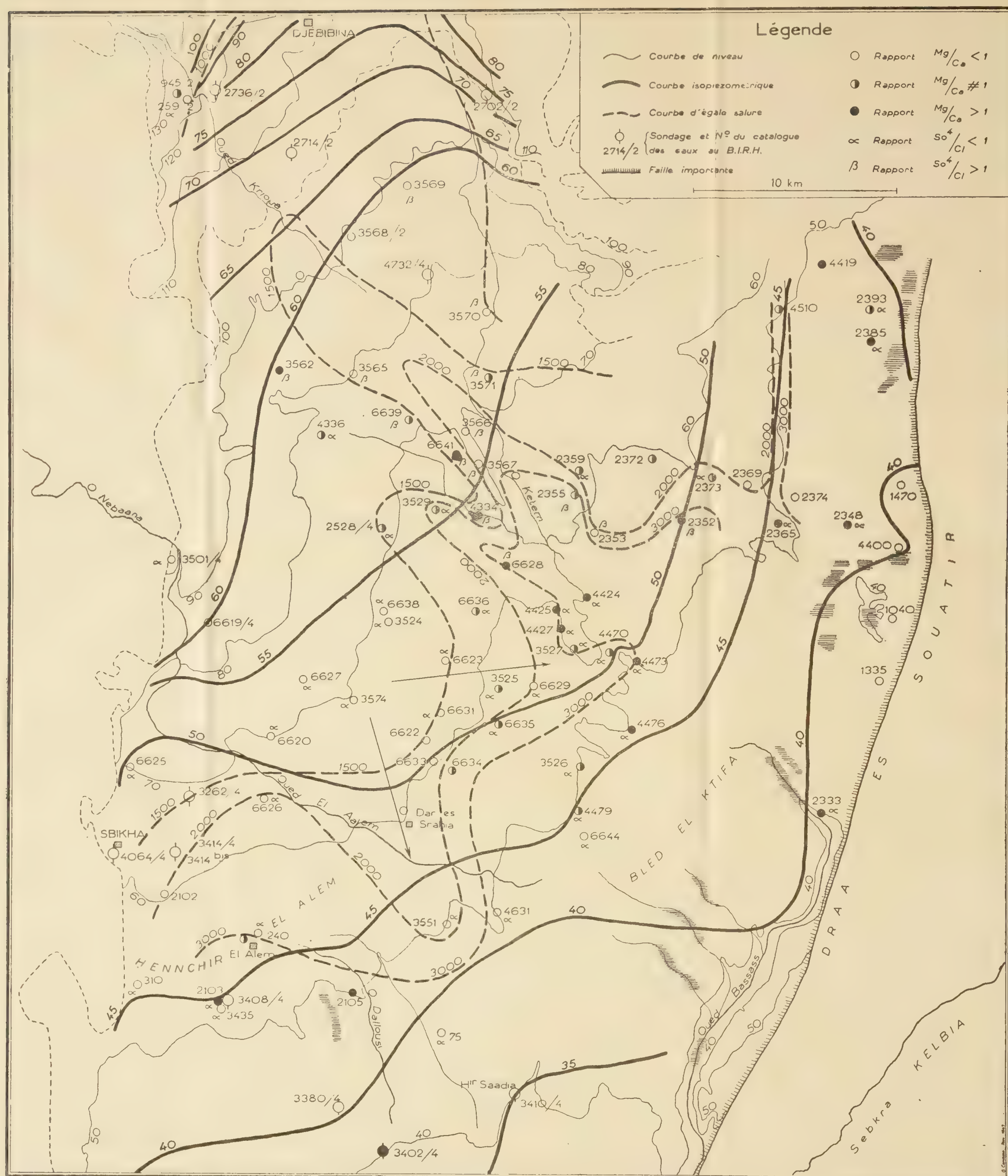


PLANCHE III

IQUE DE LA NAPPE MIOCENE
ISIE CENTRALE

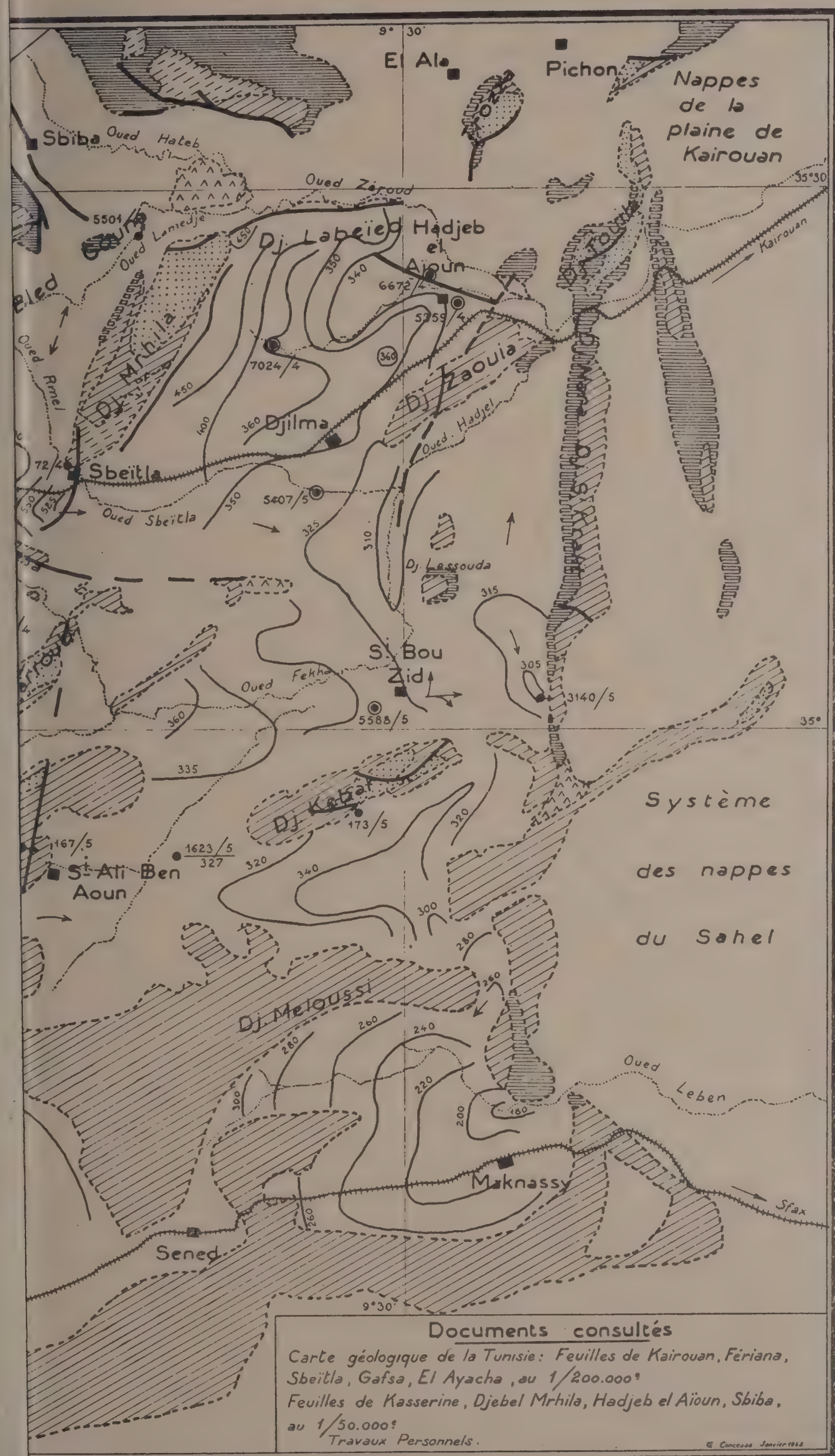


PLANCHE IV

ESQUISSE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE MIOCENE DE LA TUNISIE CENTRALE

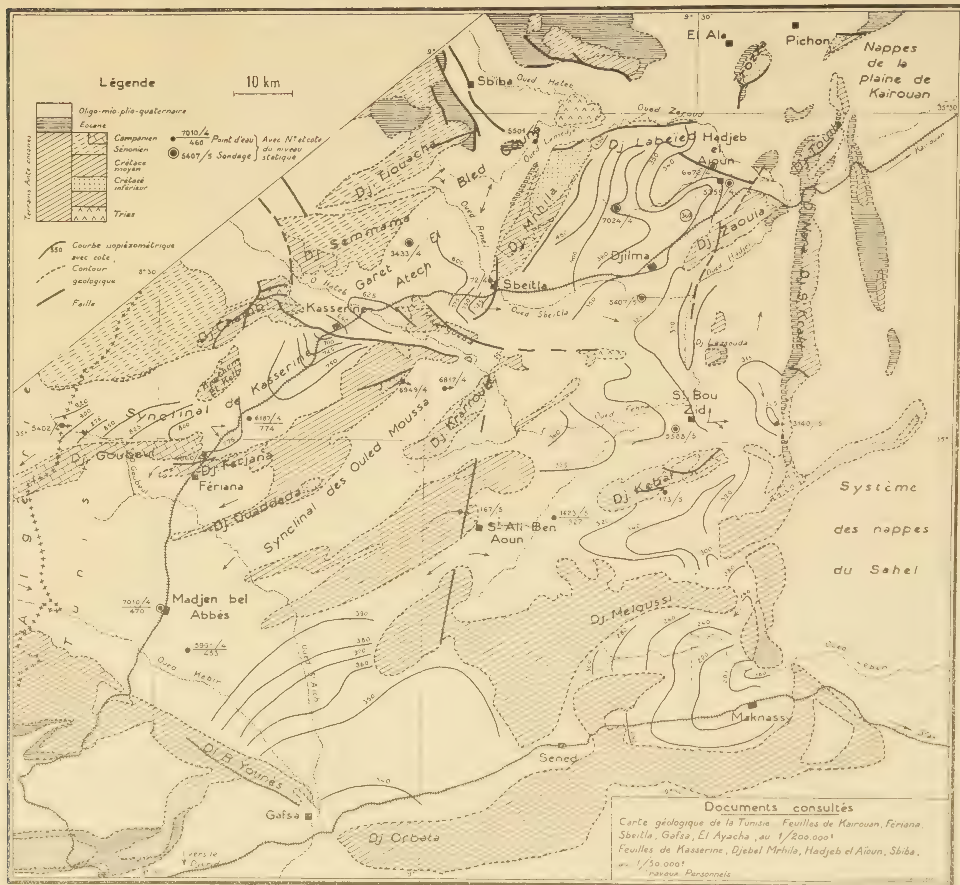


PLANCHE IV

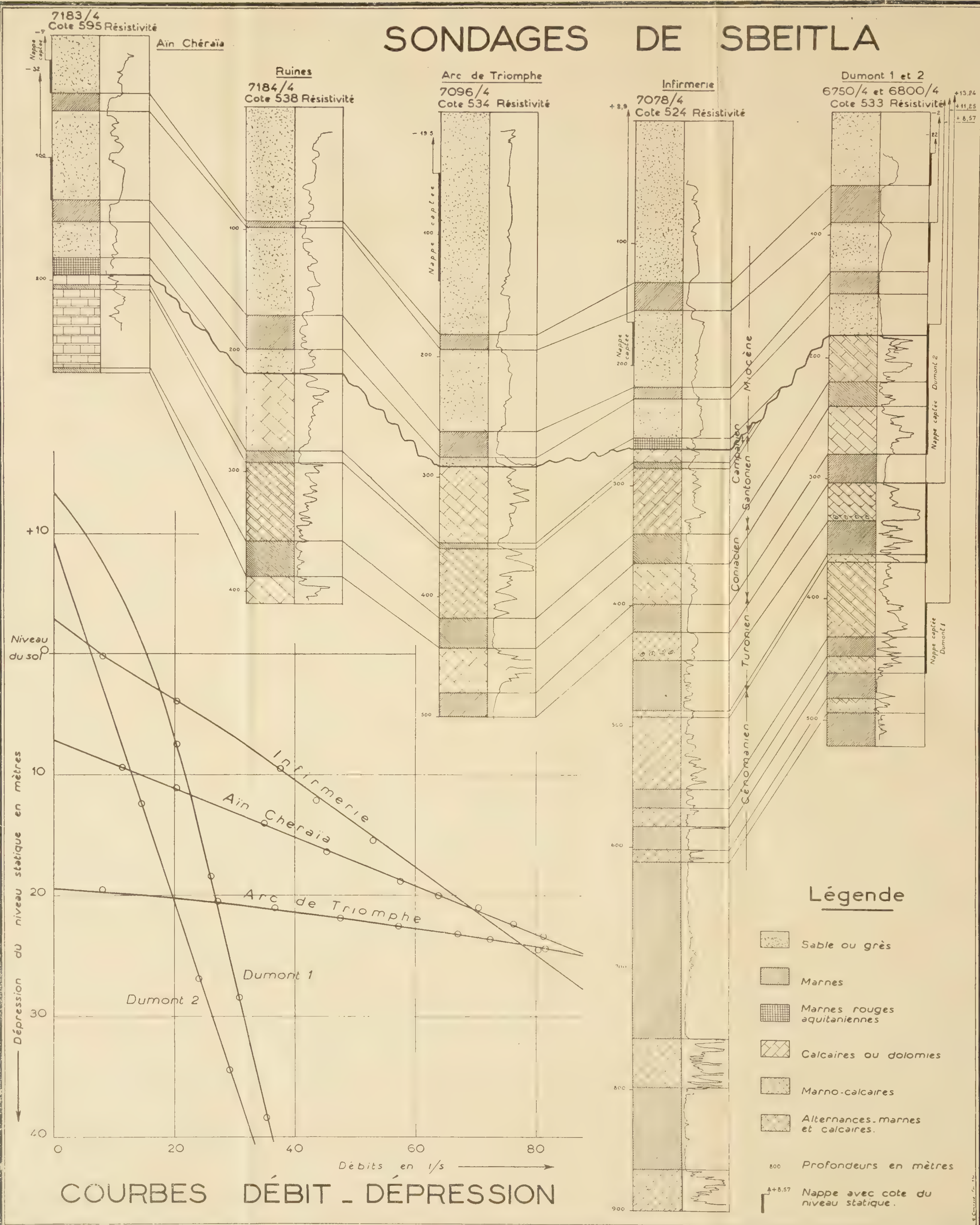

SONDAGES DE SBEITLA
Aïn Chéraïa
7183/4
Cote 595 Résistivité
Ruines
7184/4
Cote 538 Résistivité
Arc de Triomphe
7096/4
Cote 534 Résistivité
Infirmerie
7078/4
Cote 524 Résistivité
Dumont 1 et 2
6750/4 et 6800/4
Cote 533 Résistivité
Nappe captée
Miocène
Campanien
Santonien
Coniacien
Turonien
Cénomanien
Légende
Sable ou grès
Marnes
Marnes rouges aquitaniennes
Calcaires ou dolomies
Marno-calcaires
Alternances marnes et calcaires.
Profondeurs en mètres
Nappe avec cote du niveau statique.
Niveau du sol
Dépression du niveau statique en mètres
Infirmerie
Aïn Chéraïa
Arc de Triomphe
Dumont 1
Dumont 2
Débits en l/s
COURBES DÉBIT - DÉPRESSION

PLANCHE V

LOGIQUE DU DJERID

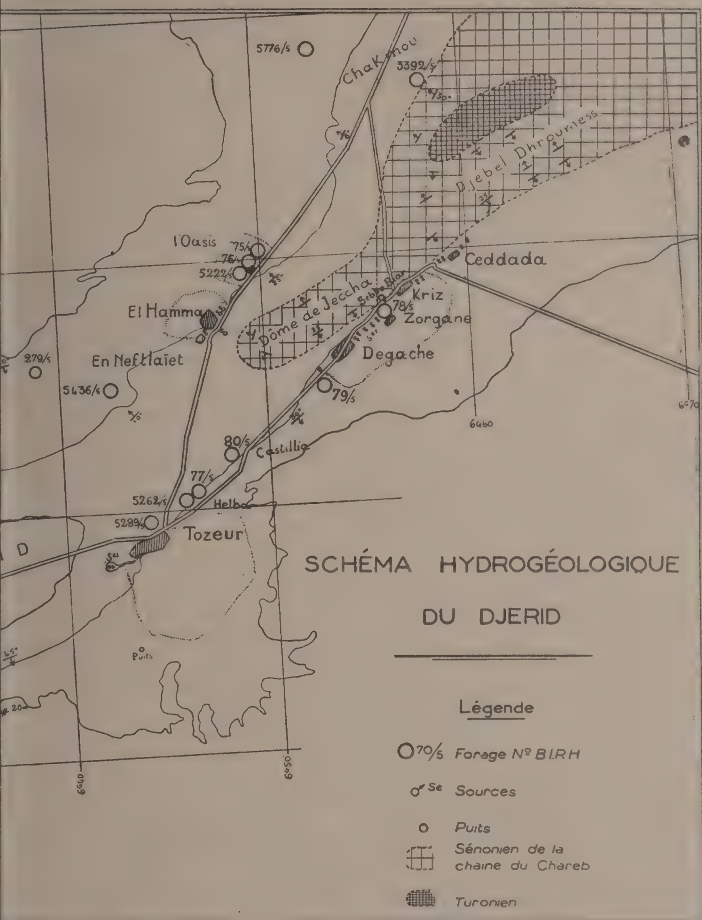


PLANCHE VI

SCHÉMA HYDROGEOLOGIQUE DU DJERID

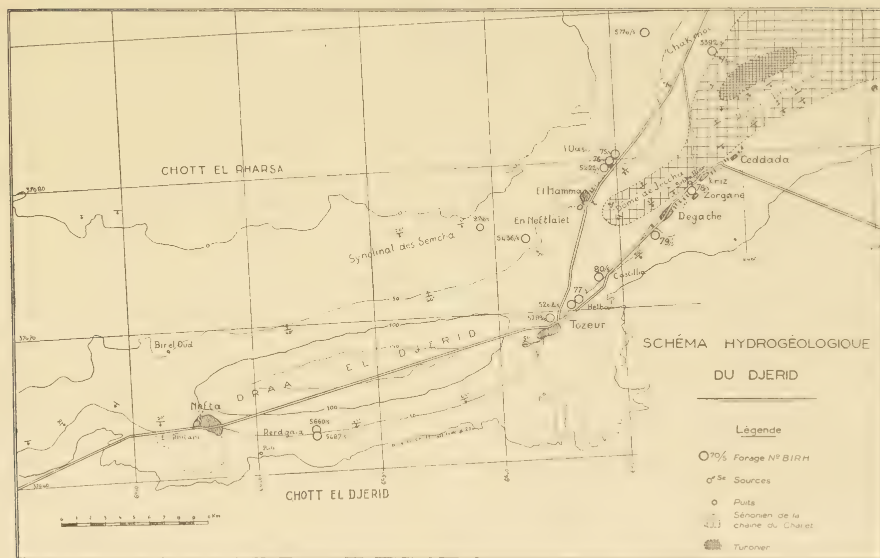


PLANCHE VI

GIQUE DU NEFZAOUA
/400.000)

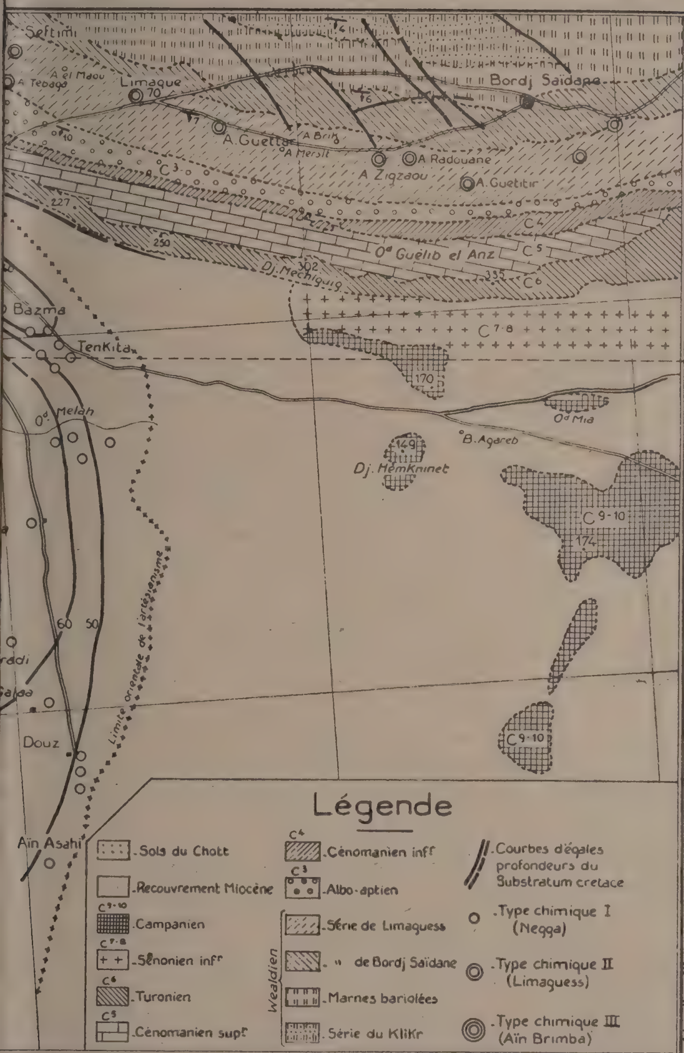


PLANCHE VII

CARTE HYDROGEOLOGIQUE DU NEFZAOUA

(Echelle 1/400.000)



PLANCHE VII

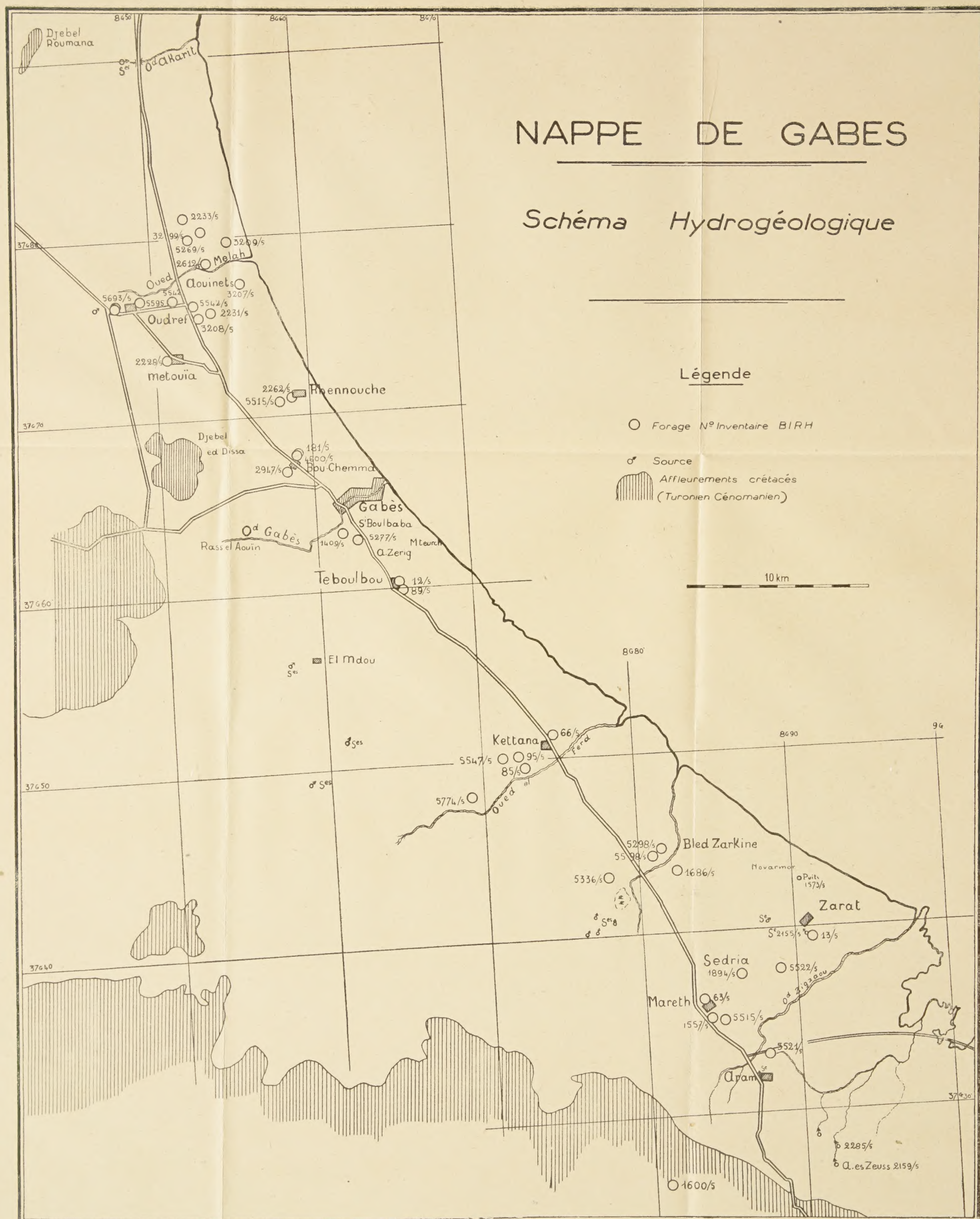


PLANCHE VIII

IMPRIMERIE LA RAPIDE
5, Rue Saint - Charles
——— TUNIS ———